

[illegible]

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено

Завідувач кафедри

Ю.С. Ямненко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

„_____” _____ 2019р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050802 Електронні пристрої та системи
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Балансування літєвих акумуляторів

Виконав: студент 4 курсу, групи ДС-52

Аврамишин Станіслав Степанович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник ст.викл., к. т. н. Коваленко Є.Ю.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент ст.викл., к. т. н. Діденко Ю.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра промислової електроніки

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050802 Електронні пристрої та системи

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Ю.С. Ямненко**
(підпис) (прізвище ініціали)

«__» _____ 2019 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

_____ **Аврамишин Станіслав Степанович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Балансування літєвих акумуляторів

Керівник проекту Коваленко Євген Юрійович, кандидат технічних наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 25 » травня 2019 року № 1404-с

2. Строк подання студентом проекту «11» червня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту Розробка алгоритму ввімкнення перетворювачів для оптимального балансування N-ї кількості послідовно з'єднаних акумуляторів.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Огляд літєвих акумуляторів та способів їх балансування. 2. Вибір DC-DC перетворювачів для балансування літєвих акумуляторів. 3. Варіанти підключення перетворювачів у якості балансирів. 4. Розробка програми-симулятора для балансування АКБ. 5. Розробка алгоритму вмикання перетворювачів для балансування.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема електрична принципова, теоретичні креслення.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
1-5			

7. Дата видачі завдання «11» жовтня 2018 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літератури	15.02.2019-07.03.2019	виконав
2	Огляд літєвих акумуляторів	9.03.2019-20.03.2019	виконав
3	Вибір DC-DC перетворювачів	22.03.2019-01.04.2019	виконав
4	Варіанти підключення перетворювачів у якості балансирів	05.04.2019-15.04.2019	виконав
5	Розробка програми-симулятора для балансування АКБ	16.04.2019-01.05.2019	виконав
6	Розробка алгоритму вмикання перетворювачів для балансування	05.05.2019-09.06.2019	виконав

Студент

(підпис)Аврамишин С.С.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)Коваленко Є.Ю.

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

В ході роботи дипломного проекту, було розглянуто принцип роботи, переваги та недоліки літієвих акумуляторів. Досліджено вбудовані системи захисту в акумуляторах. Розглянуто системи балансування літієвих акумуляторів, їхні види, переваги та недоліки. Визначено яку систему балансування краще застосовувати і для яких випадків. Досліджено типи перетворювачів, які будуть використовуватись як балансер та розробка алгоритму ввімкнення цих перетворювачів для оптимального балансування N-ї кількості послідовно з'єднаних акумуляторів.

ANNOTATION

During the work of the diploma project, the principle of work, advantages and disadvantages of lithium batteries was considered. The built-in protection systems in accumulators are investigated. Systems of balancing of lithium batteries, their types, advantages and disadvantages are considered. It is determined which balancing system is better to use and for which cases. The types of converters that will be used as a balancer and the development of an algorithm for activating these converters for optimal balancing of the N-th number of series connected batteries are explored.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОГЛЯД ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ БАЛАНСУВАННЯ	6
1.1 Загальні відомості про літєві акумулятори	6
1.2 Переваги та недоліки літій-іонних акумуляторів	9
1.3 Методи балансування акумуляторів	16
2. ВИБІР DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ.....	21
2.1 Загальні відомості про dc-dc перетворювачі.....	21
2.2 Підвищуючий перетворювач	21
2.3 Понижуючий перетворювач	28
3. ВАРІАНТИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У ЯКОСТІ БАЛАНСІРІВ	34
3.1 Приклади схем.....	34
3.2 Опис розроблених схем.....	36
4. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ-СИМУЛЯТОРА ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АКБ.....	44
4.1 Блок-схема	44
4.2 Опис роботи програми	45
5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВМИКАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ.....	48
5.1 Блок – схема алгоритму.....	48
5.2 Опис роботи програми	50
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

					<i>ДС52.521.215.001 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Аврамишин С.С.			Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Коваленко Є.Ю.					3	61
Реценз.		Діденко Ю.В.				КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФЕЛ, КПЕ, гр. ДС-52		
Н. Контр.		Батрак Л.М.						
Затверд.		Коваленко Є.Ю.						

Додаток А. Програма-симулятор для балансування елементів АКБ

Додаток Б. Програма-алгоритм ввімкнення перетворювачів

Додаток В. Реферат

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

XXI століття – ера технологій. Людство розробляє безліч нових гаджетів для полегшення нашого повсякденного життя. Більшість таких пристроїв мають вбудований акумулятор і це дає можливість користуватися ними без постійного підключення до електромережі. На сьогоднішній день літій-іонні акумулятори широко використовуються майже у всіх сферах людської діяльності. Створюють електрокари, сонячні батареї та безліч інших пристроїв, основним джерелом живлення якого є акумулятори. Найпопулярнішими на сьогоднішній день є літій-іонні акумулятори, які використовуються практично всюди. В батареї використовують різну кількість акумуляторів, які мають різну номінальну напругу. Для покращення часу роботи без підзарядки та строку служби батареї використовують балансування. Існує велика кількість мікросхем, до яких можна під'єднати лише обмежену кількість послідовно з'єднаних акумуляторів.

Метою даного проекту є розробка алгоритму ввімкнення перетворювачів для балансування N -ї кількості послідовно з'єднаних акумуляторів.

Практична новизна полягає у створенні програми, яка буде спрощувати побудову будь – якої кількості послідовно з'єднаних акумуляторів з можливістю балансування для кращого використання ресурсу батареї.

Практичне значення полягає у можливості використання даного пристрою для створення блоків акумуляторних батарей, які в останні часи стали дуже затребуваними в електромобілях.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТА СПОСОБИ ЇХ БАЛАНСУВАННЯ

1.1 Загальні відомості про літієві акумулятори

Літієві акумулятори – це первинні батареї, які мають металевий літій і анод. Ці типи батарей також називаються літій-металевими батареями. Вони відрізняються від інших акумуляторів своєю високою щільністю заряду (тривалим терміном служби) і високою вартістю за одиницю. Залежно від конструкції і використовуваних хімічних сполук, літієві елементи можуть виробляти напруги від 1.5 В – 4.3 В.

Одним із різновидів літієвих акумуляторів – літій-іонний акумулятор. Цей вид акумулятора широко використовується в сучасній електронній техніці і знаходить своє застосування в якості джерела енергії в електромобілях і накопичувачах енергії в енергетичних системах. На даний момент це найпопулярніший вид акумуляторів. Тип даного електричного акумулятора складається з електродів (катодного матеріалу на алюмінієвій фользі і анодного матеріалу на мідній фользі), розділених пористим сепаратором, просочений електролітом. Пакет електродів розміщений у герметичному корпусі, катод і анод під'єднані до клем рис.1.1.

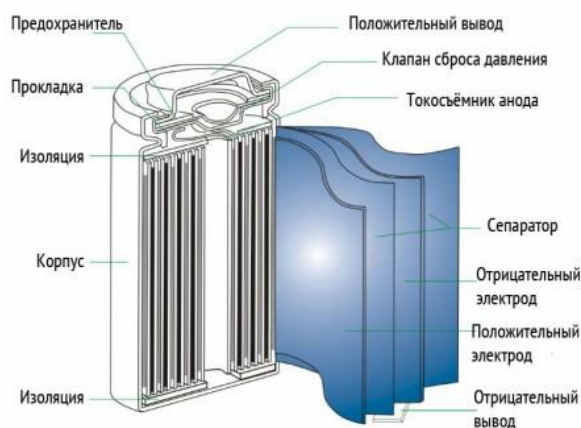


Рис 1.1 Конструкція літій-іонного акумулятора

Такі акумулятори відрізняються один від одного типом використаного катодного матеріалу. Носієм заряду в літій-іонному акумуляторі є позитивно зарядженні іони літію, який може впроваджуватися в кристалічну решітку інших матеріалів зі створенням хімічного зв'язку. На сьогодні в масовому використанні літій-іонних акумуляторів використовують три класи катодних матеріалів:

1. кобальт літію $LiCoO_2$;
2. літій-марганцева шпинель $LiMn_2O_4$;
3. літій-ферофосфат $LiFePO_4$;

Матеріал катода впливає на поведінку акумулятора в умовах значного перегріву, коли відбувається розпад катодного матеріалу з виділенням кисню, окислюється електроліт і починається саморозігрів в наслідок протікання екзотермічних реакцій. Саме температура початку саморозігріву і швидкість його наростання залежать від матеріалу катода. Найбільш низьку температуру початку саморозігріву і високу швидкість наростання температури мають акумулятори з катодом з $LiCoO_2$, в той час як самі стійкі до перегріву акумулятори мають катод з $LiFePO_4$.

Катод з $LiFePO_4$ є найбільш безпечним, так як при високих температурах розігрів батареї з таким катодом має меншу інтенсивність, внаслідок виділення меншої кількості кисню. Проте діапазон напруги роботи у акумуляторів типу $LiFePO_4$ малий і становить 2,0-3,7 В, у той час як для найбільш поширеного типу катода – катода з $LiCoO_2$, нижня межа по напрузі становить 2,5 - 2,7 В і верхня може коливатися від 4,2 В до 4,35 В. Завдяки низькому саморозряду і великій кількості циклів заряду\розряду, літій-іонні акумулятори завжди використовують в альтернативній енергетиці.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи літій-іонного акумулятора

Принцип роботи літій-іонних акумуляторів заснований на переміщенні позитивно заряджених іонів літію Li^+ між позитивними й негативними електродами в процесі розрядки й зарядки (рис.1.2). Металевий літій у цих процесах участі не бере, тому не виникає будь-яких проблем з відновленням електродів, що забезпечує стабільність і безпеку при використанні батареї.

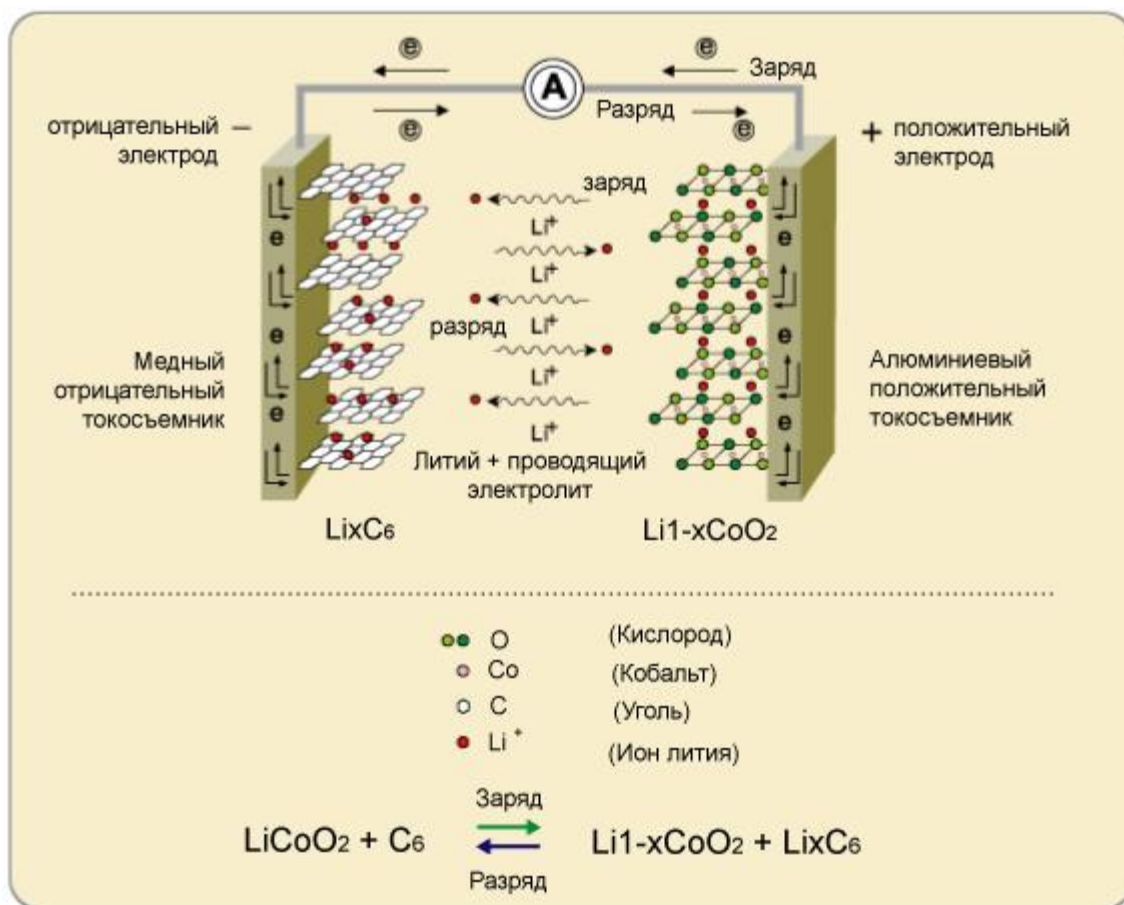


Рис. 1.2 Принцип роботи літій-іонного акумулятора

Наявність негативного електрода, який приймає і віддає іони, є загальним для всіх систем, але існує широкий вибір матеріалів, придатних для реалізації позитивного електрода й здатних забезпечувати різницю потенціалів між електродами до 3 В.

Для нормальної роботи будь-якої електрохімічної батареї необхідно як мінімум три компоненти: два електроди й електроліт, що забезпечує перенос

іонів. У малогабаритних батареях електроліт може бути твердим, рідким і желеподібним. Рідкі електроліти застосовуються, як правило, у клеєних циліндричних батареях, але через високу небезпеку займання вони не знайшли застосування в інших системах. Для розробки твердих електролітів для літєвих акумуляторів, що мають можливість перезаряджання, пішло два десятиліття напружених досліджень. На їх основі стало можливим створення тонких і плоских батарей, але з невеликим діапазоном робочих температур та малою потужністю.

1.2 Переваги та недоліки літій-іонних акумуляторів

Переваги

Перевагами даних акумуляторів є висока енергетична щільність, низький саморозряд та те, що вони не вимагають обслуговування при використанні.

Недоліки

При механічних пошкодженнях акумулятори часто бувають вогненебезпечними. Також не можна використовувати акумулятори, які мають малу силу струму (з маркуванням ICR) в пристроях яким потрібна велика сила струму, в такому випадку спрацює захист на самому пристрої або акумулятор нагріється і можливе загорання та вибух.

Літєві акумулятори проявляють схильність до вибухових самозаймань. Інтенсивність горіння навіть від маленьких акумуляторів така, що призводить до тяжких наслідків. Авіакомпанії та міжнародні організації приймають запобіжні міри, щодо перевезення акумуляторів та приладів з ними в авіатранспорті. Самозаймання літєвих акумуляторів дуже погано піддається гасінню традиційними методами (вода, закритий доступ повітря).

Незалежно від типу катода і анода для кожного літій-іонного акумулятора існують такі проблеми як перегрів і переохолодження,

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перезаряд і занадто глибокий розряд, а також проблема внутрішнього короткого замикання.

Перегрів літій-іонного акумулятора

Перегрів може відбуватися як внаслідок перезарядження, підвищення температури навколишнього середовища, так і бути наслідком короткого замикання контактів акумулятора, як зовнішнього, так і внутрішнього.

При розгляді перегріву акумулятора через підвищення температури довкілля, виділяють три стадії: стадію зовнішнього розігріву, квазі-експоненціальний самонагрів і займання. Як першу стадію розглядають процес зростання температури літій-іонних акумулятора до якогось критичного значення температури, що лежить в інтервалі від 120 до 220 °C і специфічного для різних типів акумуляторів. Потім настає друга стадія, в якій акумулятор сам генерує тепло в результаті стимульованих підвищенням температури екзотермічні реакції. Друга стадія називається квазі-експоненціальною, так як при зображенні в логарифмічному масштабі зростання температури у часу являє собою практично пряму лінію. Після закінчення другої стадії температура акумулятора стрімко зростає до кількох сотень градусів і відбувається займання акумулятора. При цьому виділяються газоподібні продукти реакцій, поки паливо для таких екзотермічних реакцій не закінчиться [1].

Крім нагріву до температури плавлення корпусу акумулятора, небезпека перегріву полягає в тому, що серед газів, що виділяються присутні горючі, такі як монооксид вуглецю, метан, етилен і водень, а також фтороводород, який є токсичним [1][2].

При внутрішньому і зовнішньому короткому замиканні, а також при перезаряді, нагрів відбувається в результаті протікання струму з виділенням теплоти відповідно до закону Джоуля-Ленца, якщо при цьому був порушений корпус акумулятора, додатковим джерелом тепла стануть екзотермічні

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реакції окислення киснем повітря матеріалів в складі акумулятора. Внаслідок первинного нагріву, так само, як і при перегріванні через підвищення температури навколишнього середовища, після того, як досягнуто критичне значення температури акумулятора, він саморозігрівається з подальшим займанням [3].

Переохолодження літій-іонного акумулятора

Незважаючи на те, що зберігання літій-іонних акумуляторів можливо при від'ємних температурах, заряд і розряд акумуляторів, охолоджених до температур нижче нуля градусів Цельсія, призводить до погіршення характеристик акумулятора. Це виражається в тому, що після декількох циклів заряду\розряду переохолоджений акумулятор втрачає значну частину своєї ємності. Крім того, спостерігається збільшення імпедансу акумуляторів в батареї, які працювали в умовах переохолодження [4].

Початкові припущення вчених про причини поганої продуктивності літій-іонних акумуляторів при низьких температурах будувалися на тому, що рухливість іонів літію в електроліті знижується при зниженні температури. Однак більш пізні дослідження показали, що хоча іонна провідність електроліту впливає на зростання імпедансу, основною причиною втрати ємності є дифузія літію в графітовий анод. Втрата ємності відбувається, тому що при низьких температурах літій не інтеркалює в графітовий анод. Замість вбудовування в решітку, відбувається необоротна дифузія літію і цей процес тим інтенсивніше, чим вище величина зарядного струму. Процес дифузії в свою чергу викликаний високою поляризацією анода при низьких температурах, через що потенціал графітового анода стає близький до потенціалу металевого літію. Відповідно, іони літію, які утворили шар літію на аноді залишаються там назавжди і більше не можуть переносити заряд, чим і викликана втрата ємності [5][6].

Інша небезпека низькотемпературного заряду полягає в тому, що на обложеному літії можуть рости так звані «дендрити» літію, які доростаючи до катода, на коротко замикають катод з анодом зсередини, що може стати причиною пожежі акумулятора [5].

Для того, щоб подолати обмеження в роботі літій-іонних акумуляторів при низьких температурах, були розроблені нові типи анодів. Зокрема, анод з титанату літію, який дозволяє роботу акумулятора при температурах до -30°C . Однак, акумулятори з анодом з титанату літію мають меншу ємність, тому поки не можуть замінити акумулятори з графітовими анодами [7].

Перезаряд літій-іонного акумулятора

Перезаряд літій-іонного акумулятора може виникати при різних умовах, наприклад, якщо при заряді акумулятора методом «напруги постійного струму» пропущена стадія обмеження напруги і здійснюється заряд постійним струмом протягом тривалого часу. В цьому випадку напруга на контактах акумулятора продовжує рости аж до займання.

Перезарядити осердя можна також при обмеженні напруги під час заряду, вибравши величину напруги значно більше, ніж рекомендована виробником. Такі умови при заряді можуть виникнути при несправності в зарядному пристрої, а також при використанні не відповідають типу акумулятора зарядних пристроїв.

На початкових стадіях заряду виділення тепла в літій-іонному акумуляторі відбувається пропорційне протікання струму і додається напруга, згідно із законом Джоуля-Ленца:

$$Q = IU\Delta t. \quad (1.1)$$

Так як при заряді здійснюється деінтеркаляції літію з катода, яка є ендотермічної реакцією, деякий час температура акумулятора не змінюється, балансує між генерацією джоулевого тепла і поглинанням тепла в результаті внутрішньої хімічної реакції при перетіканні іонів літію з катода, а

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

також теплообміном з навколишнім середовищем. Однак, якщо теплообмін утруднений, і тепло генерується швидше, ніж відводиться через корпус акумулятора, він починає перегріватися. При температурі близько 120 ° С міжфазовий шар електроліту руйнується, і внаслідок реакції руйнування шару і наступних за цим побічних реакцій між матеріалом анода і електролітом, виділяється велика кількість тепла [8].

Потім відбувається окислення електроліту киснем, який виділяється через розпад катодного активного матеріалу. використовувані для виготовлення катодів сучасних літій-іонних акумуляторів матеріали є перехідними оксидами металів, і при деяких значеннях температури і рівнях заряду акумулятора вони нестабільні і розпадаються з виділенням кисню. Наприклад, для найбільш поширеного на сьогоднішній день матеріалу катодів - Li_xCoO_2 , діапазон стабільності обмежений величиною x від 0,5 до 1, і при $x = 0,4$ такий матеріал розпадається при температурі близько 170 ° С. Зменшення величини x відбувається в процесі заряду, так як саме при заряді іони літію витягуються з активного матеріалу катода і рухаються до анода. При цьому відбувається зростання літієвих дендритів на поверхні анода, приводячи до коротких замикань між анодом і катодом [9].

Такий захисний механізм як сепаратор, який плавиться при температурах близько 80 °С є захистом від займання тільки в тих випадках, коли швидкість нагріву порівнянна зі швидкістю плавлення сепаратора, що буває тільки при невеликих токах заряду при наявності в процесі заряду потенціостатичного етапу.

Навіть якщо перезаряд не закінчився запалюванням акумулятора, відбувається необоротна деградація в результаті розчинення активного матеріалу катода і розпаду самого катода. У дослідах, проведених з осередками, мають катод з Li_xCoO_2 і графітовий анод, були виявлені літієві дендрити, що означає втрату ємності в результаті незворотних реакцій з осадженням літію на аноді [10].

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перерозряд літій-іонного акумулятора

Кожен літій-іонний акумулятор має рекомендовану граничну напругу, при досягненні якої, акумулятор вважається повністю розрядженим. Глибоким розрядом вважається розряд акумулятора нижче цієї напруги, і результатом такого розряду стає необоротна втрата ємності.

При розряді іони літію виходять з анода і вбудовуються в катод, при тривалому розряді внаслідок малої кількості іонів літію, руйнується шар міжфазного електроліту, електроліт реагує з матеріалом анода, при цьому виділяється певна кількість газу, наприклад, двоокису вуглецю і акумулятор вздувається.

Одночасно з руйнуванням шару міжфазного електроліту мідна підкладка, на якій розташовується анод, окислюється, утворюючи іони міді, які можуть проникати крізь сепаратор, утворюючи короткі замикання [10] [11].

Перераховані процеси самі по собі викликають загорання літій-іонних акумуляторів, однак, подальше використання сильно розрядженого одного разу акумулятора може призвести до небезпечних наслідків. Крім коротких замикань, утворених іонами міді, наступний за глибоким розрядом заряд викликає формування нового шару міжфазного електроліту замість зруйнованого, на цей процес витрачаються іони літію, внаслідок чого втрачається ємність. Товщина новоствореного шару вище, крім того іони міді ускладнюють процес переходу іонів літію, тому крім втрати ємності, спостерігається значне зростання імпедансу, який може при подальшому циклуванні акумулятора приводити до підвищеного нагріву[11].

Літій-іонні батареї мають найбільшу щільність енергії серед всіх типів батарей. Властивості літій-іонної батареї, більшою мірою залежать від матеріалів, з яких виготовлені катод і анод, в залежності від типу використовуваних матеріалів існує кілька типів літій-іонних батарей, відрізняються своїми характеристиками. Для кожного типу літій-іонної

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

батареї існують режими роботи, при яких можливе займання батареї, найбільш поширеними причинами займання є - перегрів, переохолодження, перезаряд і глибокий розряд. Основні внутрішні механізми, що приводять до займання батареї це - осадження літію на аноді і формування літієвих дендритів від катода до анода, а також взаємодія анодного матеріалу з електролітом, результатом якого є виділення газу.

Вбудовані системи захисту в літій-іонний акумулятор

Літій-іонні акумуляторні батареї комерційного призначення мають найбільш досконалий захист, порівняно з усіма типами батарей. Як правило, у схемі захисту літій-іонної батареї використовується ключ на польовому транзисторі, який при досягненні на елементі батареї напруги 4,30 В закривається й тим самим перериває процес заряду. Крім того, наявний температурний запобіжник, який при нагріванні батареї до 90С° від'єднує коло її навантаження, забезпечуючи її термозахист.

Деякі акумулятори мають вимикач, який спрацьовує при досягненні граничного рівня тиску всередині корпусу, рівного 1034 кПа (10,5 кг/м²), і розриває ланцюг навантаження. Іноді є й схема захисту від глибокого розряду, що стежить за напругою акумуляторної батареї й розриває ланцюг навантаження, якщо напруга на елемент знизиться до рівня 2,5 В.

Внутрішній опір схеми захисту акумуляторної батареї мобільного телефону в увімкненому стані дорівнює 0,05- 0,1 Ом. Конструктивно вона складається з двох ключів, з'єднаних послідовно. Один з них спрацьовує при досягненні верхнього, а інший — нижнього порогів напруги на батареї. Загальний опір цих ключів фактично створює подвоєння її внутрішнього опору, особливо, якщо батарея складається лише з одного елементу.

У деяких Li-ion батареях, в яких використовують марганець, що мають 1-2 елементи; схема захисту не застосовується. Замість цього в них встановлено лише один запобіжник. І такі батареї є безпечними завдяки їх

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

невеликим габаритам та ємності. Крім того, марганець досить «терплячий» до порушень правил експлуатації Li-ion батареї. Відсутність схеми захисту зменшує вартість Li-ion батареї, але породжує нові проблеми.

При використанні недорогих зарядних пристроїв, призначених для підзарядки від мережі або від бортової мережі автомобіля, можна бути впевненим, що за наявності в батареї схеми захисту, вона відключить її при досягненні напруги кінця заряду. Якщо схему захисту в акумуляторі не передбачено, станеться перезаряд батареї і, як наслідок, її незворотний вихід з ладу. Цей процес супроводжується підвищенням нагріванням і роздуттям корпусу батареї.

1.3 Методи балансування акумуляторів

При роботі з літій-іонними акумуляторами потрібно зберігати певні режими їхньої експлуатації. Виробники акумуляторів чітко регламентують граничні значення напруги заряду і розряду. Таким чином, при формуванні літій-іонних акумуляторних батарей із послідовно з'єднаних комірок виникає необхідність вирівнювання розкиду напруги між комірками. Виникнення розкиду по напрузі між комірками акумуляторних батарей в процесі їхньої експлуатації може виникнути внаслідок різниці їхніх значень по ємності, а також різною швидкістю саморозряду. Причиною виникнення розкиду цих параметрів є індивідуальні особливості акумуляторів, які входять в її склад. При виготовленні акумуляторних батарей, виконується підбір акумуляторів з дуже близькими (до 1-3%) значеннями ємності та інших характеристик, однак практично неможливо передбачити, як будуть змінюватися характеристики акумулятора в процесі його старіння і вироблення ресурсу. Для вирішення цієї проблеми використовують системи балансування акумуляторних батарей, основною задачею яких є максимально мінімізувати розкид по напрузі між комірками.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Системи балансування поділяють на два типи :

- Активне балансування;
- Пасивне балансування;

Пасивна система балансування

Пасивна система балансування буде намагатися зменшити струм заряду того акумулятора, напруга на якому збільшується швидше. В загальному випадку це можна уявити як замикання цього акумулятора шунтуючим резистором R . Таким чином, через цей акумулятор буде протікати лише частина зарядного струму. Інша частина струму буде проходити через шунт R (рис. 1.3).

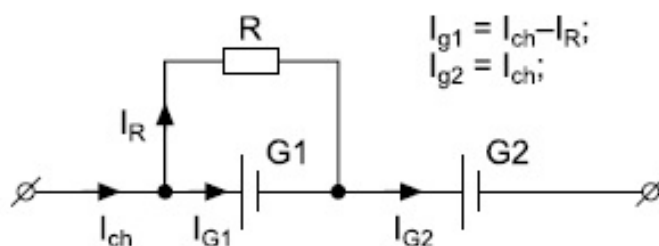


Рис. 1.3 Шунтування акумулятора резистором R при заряді

Акумулятор G_1 має ємність 50 А*г , G_2 – 100 А*г . При зниженні струму заряду на величину I_R швидкість заряду акумулятора G_1 зменшиться, відповідно, зменшиться і швидкість зростання напруги на ньому. Таким чином при досягненні кінцевої зарядної напруги на акумуляторі G_1 , акумулятор G_2 , через який весь цей час протікав повний струм заряду, запасе трохи більшу кількість енергії, ніж при відсутності системи балансування. Величина цієї добавки визначається різницею струмів заряду акумуляторів, помноженою на час заряду, і без фази падаючого струму складе $I_R * t$

Під час розряду батареї пасивна система балансування, як правило ніяких дій не виконує. Розряд в штатному режимі буде зупинений, коли

напруга на одному із акумуляторів (в даному випадку на акумуляторі G_1) досягне мінімально допустимого значення.

При наступному циклі заряду ситуація дещо зміниться, оскільки в акумуляторі G_2 залишиться деяка кількість енергії, відповідно напруга на ньому буде більша ніж на акумуляторі G_1 . Тому на початку заряду система балансування буде шунтувати резистором акумулятор G_2 . Потім, коли напруга на G_1 перевищить напругу на G_2 , шунтуватися буде акумулятор G_1 . Звичайно, шунтування акумулятора G_2 на початку заряду виглядає неефективним, так як виходить, що система балансування в цей момент працює сама проти себе. Насправді, великих проблем через це не виникає.

Можна виділити декілька основних недоліків пасивних систем балансування. В першу чергу, це неможливість використання всієї енергії, яку може запасти батарея. Крім того, при проходженні струму через шунтуючі резистори на них відбувається розсіювання енергії у вигляді тепла, що знижує коефіцієнт корисної дії системи. При використанні акумуляторних батарей середньої ємності (десятки А*г), не кажучи вже про батареї великої ємності, виділення тепла буде велике і розробникам прийдеться переглядати систему тепловідведення, що в деяких випадках буває зовсім не просто. Також при використанні пасивної системи балансування іноді вдаються до навмисного збільшення часу заряду шляхом обмеження зарядного струму. При великому розбалансуванні це сприяє більш ефективній роботі системі балансування завдяки збільшенню відношення I_R / I_{ch} , однак збільшення часу заряду призводить до зниження експлуатаційних характеристик батареї.

Активна система балансування

Активні СБ здатні перерозподіляти енергію всередині акумуляторних батарей і можуть працювати як при розряді, так і при заряді. На рис.1.4 схематично показаний принцип такого перерозподілу при розряді.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

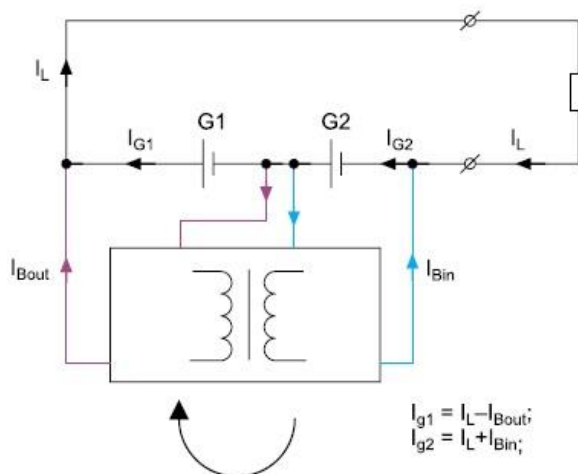


Рис. 1.4 Принцип дії активної системи балансування

Перерозподіл енергії відбувається від акумулятора G_2 , що має велику ємність, до акумулятора G_1 , який має меншу ємність. Активна система балансування бере частину енергії у G_2 , збільшуючи його струм розряду (I_{G2}), і зменшує струм розряду G_1 (I_{G1}). В ідеальному випадку, якщо прийняти ККД активної системи балансування за 100%, а напруги на акумуляторах приблизно рівними, то вхідний і вихідний струм системи балансування будуть рівними ($I_{Bout} = I_{Bin}$). При заряді ситуація зміниться на протилежну, і активна система балансування буде зменшувати струм заряду акумулятора G_1 і збільшувати струм заряду G_2 , стаючи для G_1 свого роду шунтом, показаним на рис. 1.3, але не перетворює енергію в тепло, а передає її акумулятору G_2 .

Значною перевагою активних систем балансування є набагато менше виділення тепла при роботі в порівнянні з пасивними. Тому там, де потрібний балансувальний струм вище 5А, застосовують активні системи балансування. Завдяки сучасним досягненням в області створення DC/DC-перетворювачів можна виготовляти компактні і високоефективні активні системи балансування зі значним балансувальним струмом (десятки ампер) при ККД > 0,85. Здатність активних систем балансування працювати і при розряді звільняє від необхідності розтягувати час заряду, для того щоб

збалансувати акумуляторну батарею, як це робиться при використанні пасивних систем балансування. Споживачу завжди потрібна акумуляторна батарея, яку можна заряджати як можна швидше, а потім використовувати її як можна довше, отримавши при цьому хороші питомі характеристики.

До недоліків активних систем балансування слід віднести дорожнечу в порівнянні з пасивними системами балансування, витрати часу і коштів на проектування і виготовлення. А також те, що в підключеному до акумуляторних батарей стані активні системи балансування мають помітне споживання струму на холостому ході, тому їх часто проектують як керовані, тобто системи балансування включають в необхідні моменти часу. Управління має здійснюватися від системи забезпечення функціонування (BMS), що передбачає наявність алгоритму в самій системі забезпечення функціонування для управління.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ВИБІР DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРІВ

2.1 Загальні відомості про dc-dc перетворювачі

Перетворювач постійного струму в постійний струм (dc-dc converter) – являє собою електронну схему або електромеханічний пристрій, що перетворює один рівень напруги постійного струму в інший, який може бути вищим або нижчим, зберігаючи вхідну енергію, а потім віддаючи цю енергію на вихід при іншій напрузі. Зберігання може здійснюватися або в компонентах зберігання магнітного поля (дроселі, трансформатори), або в компонентах для зберігання електричного поля (конденсатори). Перетворювачі, які використовують метод комутації є більш енергоефективним (типова ефективність становить від 75% до 98%), ніж лінійне регулювання напруги, яке розсіює небажану енергію в тепло. Більш висока ефективність перемикача з комутаційним режимом знижує необхідність радіатора і підвищує витривалість батареї портативного пристрою. Ефективність покращилася з кінця 1980-х років завдяки використанню потужних транзисторів, які здатні ефективніше перемикатися з меншими втратами на перемикання для більш високих частот, ніж біполярні транзистори і використовують менш складну схему.

2.2 Підвищуючий перетворювач

Підвищуючий перетворювач (step-up converter) – це перетворювач постійного струму в постійний з вихідною напругою, більшою, ніж напруга джерела. Перетворювач складається з дроселя, ключа, діода та конденсатора (рис. 2.1)

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

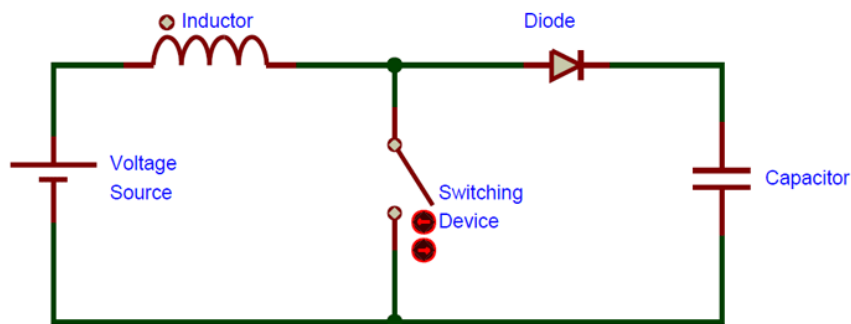


Рис. 2.1 Схема підвищуючого перетворювача

Живлення для перетворювача підвищувальної напруги може надходити з будь-яких відповідних джерел постійного струму, таких як батареї, сонячні батареї, випрямлячі та генератори постійного струму.

Для створення перетворювача необхідно лише кілька частин, вони менш громіздкі, ніж трансформатори змінного струму. Найбільшою перевагою даного перетворювача є висока ефективність, деякі з них можуть досягати 99%. Іншими словами, 99% вхідної енергії перетворюється на корисну вихідну енергію, втрачаючи лише 1%.

Принцип роботи

Коли ключ закритий, струм проходить через індуктивність за годинниковою стрілкою, запасаючи певну енергію, генеруючи магнітне поле. Полярність лівої сторони котушки є позитивною (рис. 2.2).

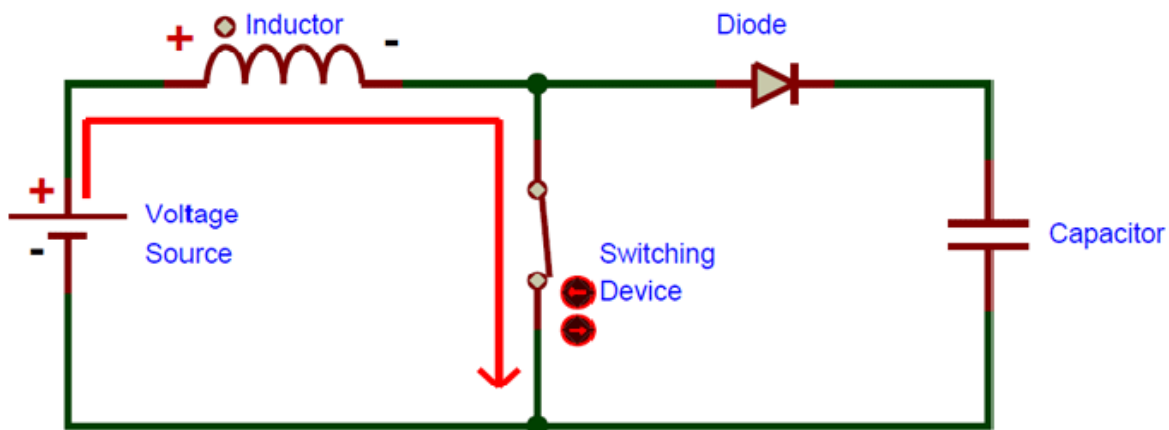


Рис. 2.2 Траєкторія струму при закритому ключі.

Коли перемикач відкритий, струм проходить через діод, заряджаючи конденсатор від джерела живлення та індуктивності, яка на даному етапі ЕРС самоіндукції змінює свою полярність на протилежну (ліва сторона котушки буде мати негативну полярність). Як результат два джерела будуть послідовно викликати більш високу напругу для зарядки конденсатора через діод (рис. 2.3).

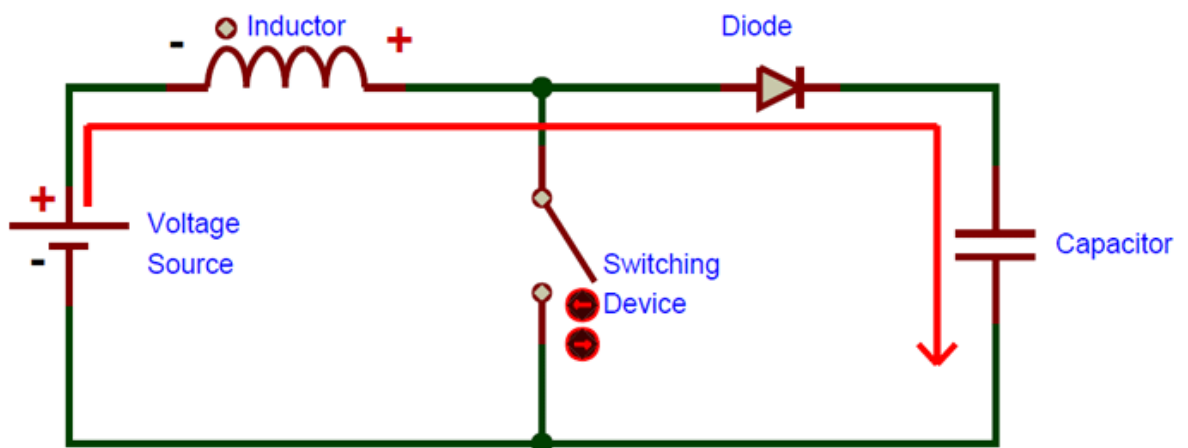


Рис. 2.3 Траєкторія струму при відкритому ключі

Можливі два режими роботи дроселя L :

- режим безперервного протікання струму в дроселі;
- режим переривчастого протікання струму в дроселі.

Режим безперервного протікання струму в дроселі

При роботі перетворювача в безперервному режимі, струм через індуктивність L ніколи не падає до нуля.

На рис. 2.4 зображені типові форми сигналів струмів і напруг у дроселі перетворювача, при роботі у цьому режимі.

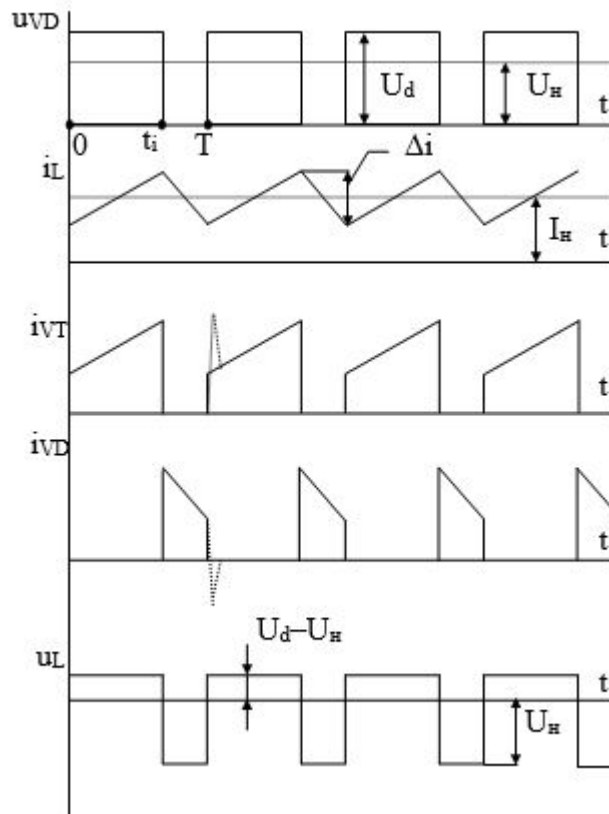


Рис. 2.4 Часові діаграми струмів та напруг дроселя в режимі безперервного струму.

При включеному стані транзистор VT відкритий, від чого вхідна напруга U_L з'являється на дроселі і це призводить до зміни струму i_L , що протікає через котушку індуктивності протягом періоду часу (t) за формулою:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{U_L}{L}. \quad (2.1)$$

Як наслідок, в кінці включеного стану зростання i_L визначатиметься формулою:

$$\Delta i_{Lon} = \frac{1}{L} \int_0^{DT} U_L dt = \frac{DT}{L} U_L. \quad (2.2)$$

де D – це робочий цикл, який являє собою частину комутаційного періоду T, протягом якого ключ ввімкнений. Таким чином, D коливається в діапазоні від 0 (VT завжди закритий) і 1 (VT завжди відкритий).

Коли ключ відкритий, струм індуктивності протікає через навантаження. Якщо розглядати нульове падіння напруги в діоді і конденсаторі, достатній для того, щоб його напруга залишалася незмінною, тоді i_L буде:

$$V_0 - V_i = L \frac{di_L}{dt} . \quad (2.3)$$

Таким чином, зміна i_L протягом вимкненого стану дорівнюватиме:

$$\Delta I_{Loff} = \int_{DT}^T \frac{(V_i - V_0)dt}{L} = \frac{(V_i - V_0)(1 - D)T}{L} . \quad (2.4)$$

Оскільки ми вважаємо, що перетворювач працює в стаціонарних режимах, кількість енергії, що зберігається в кожному з її компонентів повинна бути однаковою на початку і в кінці циклу комутації. Зокрема, енергія, що зберігається в дроселі, задається:

$$E = \frac{1}{2} L I_L^2 . \quad (2.5)$$

Таким чином, струм в дроселі має бути однаковим на початку і в кінці циклу комутації. Це означає, що загальна зміна струму дорівнює нулю:

$$\Delta i_{Lon} + \Delta i_{Loff} = 0 . \quad (2.6)$$

Заміняючи Δi_{Lon} і Δi_{Loff} їхніми виразами:

$$\Delta i_{Lon} + \Delta i_{Loff} = \frac{U_L DT}{L} + \frac{(V_i - V_0)(1 - D)T}{L} = 0 . \quad (2.7)$$

Також можна записати це як:

$$\frac{U_0}{U_L} = \frac{1}{1 - D} . \quad (2.8)$$

Наведене вище рівняння показує, що вихідна напруга завжди вище, ніж вхідна напруга (коли робочий цикл проходить від 0 до 1), і що вона зростає зі збільшенням D , теоретично до нескінченності, оскільки D наближається до 1.

Перегрупувавши рівняння можна виразити робочий цикл:

$$D = 1 - \frac{U_L}{U_0}. \quad (2.9)$$

Режим переривчастого протікання струму в дроселі

Якщо амплітуда пульсацій струму занадто висока, то котушка індуктивності може бути повністю розряджена до кінця повного комутаційного циклу. Це зазвичай відбувається при невеликих навантаженнях. У такому випадку струм, що протікає через котушку індуктивності, падає до нуля протягом частини періоду. Не зважаючи на те, невелике розходження сильно впливає на рівняння вихідної напруги.

Оскільки струм дроселя на початку циклу рівний нулю, його максимальне значення $i_{L\max}$ (при $t = DT$) буде:

$$i_{L\max} = \frac{U_L DT}{L} \quad (2.10)$$

Протягом вимкненого стану, i_L падає до нуля після δT :

$$i_{L\max} + \frac{(U_L - U_0)\delta T}{L} = 0 \quad (2.11)$$

Взявши два попередні вирази, знаходимо:

$$\delta = \frac{U_L D}{U_0 - U_L} \quad (2.12)$$

Струм навантаження i_0 дорівнює середньому струму діода (i_{VD}). Як можна побачити на рис. 2.5, струм діода дорівнює струму дроселя під час вимкненого стану.

Таким чином, вихідний струм можна записати у вигляді:

$$i_0 = i_{VD} = \frac{i_{L\max}}{2} \delta \quad (2.13)$$

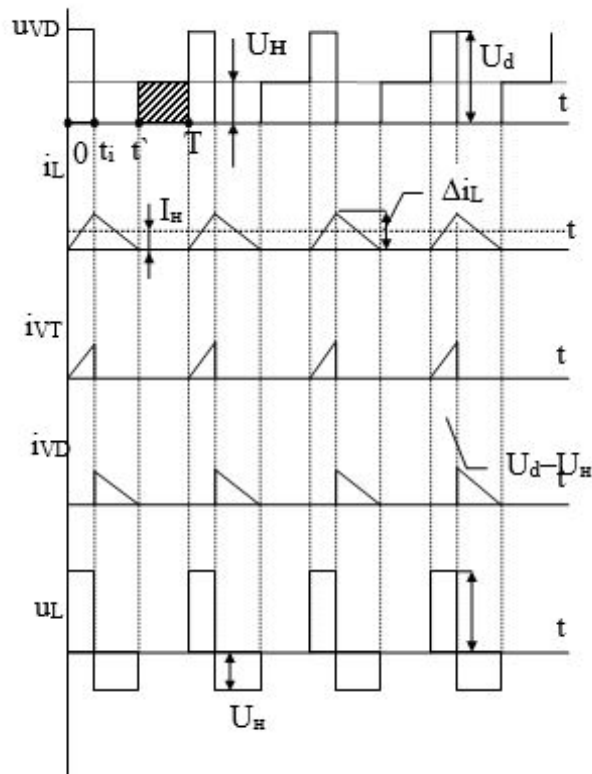


Рис. 2.5 Часові діаграми струмів та напруг дроселя в режимі переривчастого струму

Замінюючи $i_{L\max}$ і δ їх відповідними виразами:

$$i_0 = \frac{U_L D T}{2L} \cdot \frac{U_L D}{U_0 - U_L} = \frac{U_L^2 D^2 T}{2L(U_0 - U_L)} \quad (2.14)$$

Таким чином, коефіцієнт підсилення вихідної напруги можна записати в такий спосіб:

$$\frac{U_0}{U_L} = 1 + \frac{U_L D^2 T}{2L i_0} \quad (2.15)$$

У порівнянні з виразом посилення напруги на виході для безперервного режиму, цей вираз є набагато складнішим. Крім того, в режимі переривчастих струмів, посилення вихідної напруги не тільки залежить від робочого циклу (D), але і від величини котушки індуктивності (L), вхідної напруги (U_L), періоду комутації (T) і вихідного струму (i_0).

2.3 Понижуючий перетворювач

Понижуючий перетворювач напруги – це перетворювач, призначений для перетворення високої напруги в більш низьку стабілізовану напругу. Перетворювач повинен містити два напівпровідника (діод і транзистор) та хоча б один елемент накопичення енергії: дросель, котушка або їх комбінація. На відміну від L- чи LC-фільтра, в даному випадку фільтр обов’язково доповнюється діодом VD, який називають зворотнім діодом (рис. 2.6).

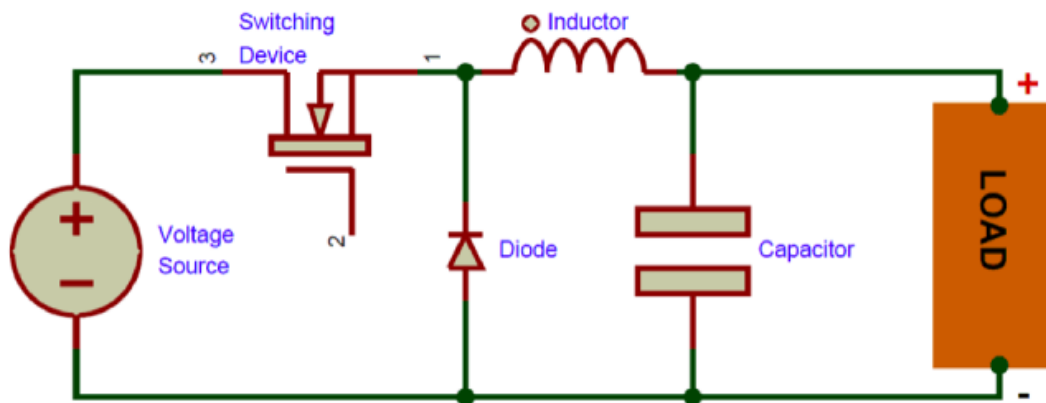


Рис. 2.6 Схема понижуючого перетворювача

Коли ключ закритий, струм з джерела живлення буде протікати через навантаження. Діод в цей момент закритий, тому струм протікає через елементи L і C, в яких буде накопичуватися енергія (рис. 2.7).

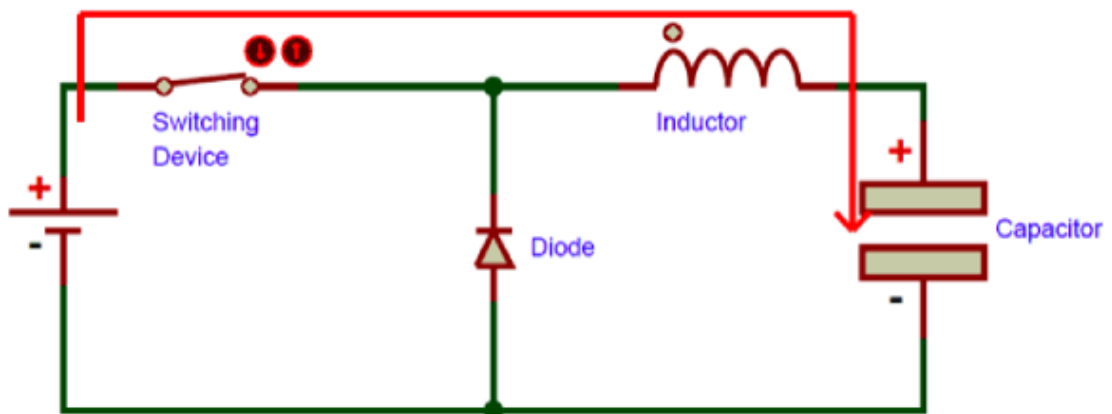


Рис. 2.7 Траєкторія протікання струму при замкненому ключі

Коли ключ відкритий, джерело напруги відключається від схеми і за рахунок ЕРС самоіндукції, дросель стає джерелом струму. Накопичену енергію віддає іншим елементам кола, розряджаючись через діод (рис. 2.8).

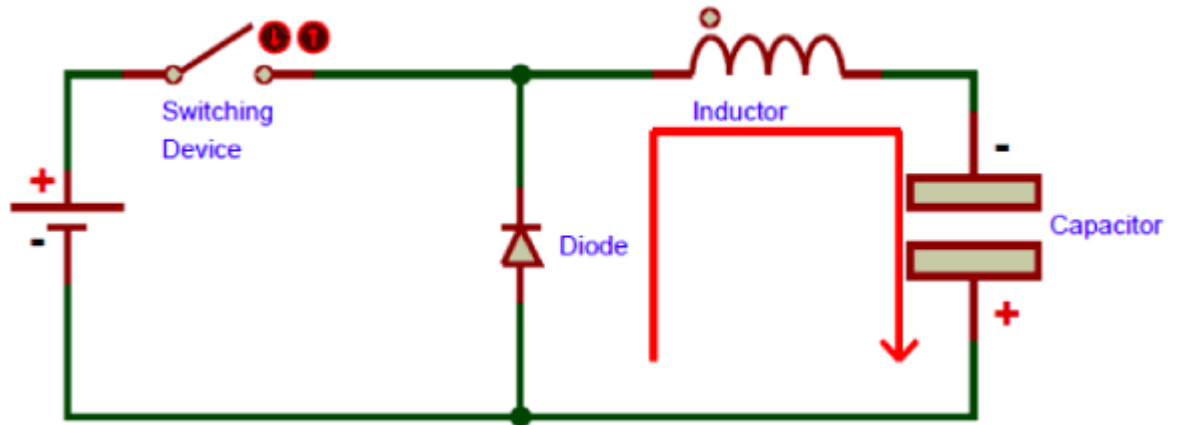


Рис. 2.8 Траєкторія струму при відкритому ключі

Можливі два режими роботи дроселя L :

- режим безперервного протікання струму в дроселі;
- режим переривчастого протікання струму в дроселі.

Режим безперервного протікання струму в дроселі

Коли транзистор відкритий, до дроселя L прикладена напруга, яка дорівнює різниці напруг $E - U_H$. Під дією цієї напруги струм у дроселі і зростає (рис. 2.9), причому:

$$U_L(t) = L di_L / dt = U_d - U_H. \quad (2.16)$$

Очевидно, що цей струм буде зростати лінійно:

$$i_L(t) = i_L(0) + (U_d - U_H)t / L, \quad (2.17)$$

де $i_L(0)$ – початковий струм в дроселі в момент замикання ключа.

При розмиканні ключа відкривається діод VD і струм дроселя протікає через нього. При цьому до дроселя прикладена напруга U_H в протилежному напрямку. Струм дроселя спадає і визначається з рівняння:

$$U_L(t) = L di_L / dt = -U_H \quad (2.18)$$

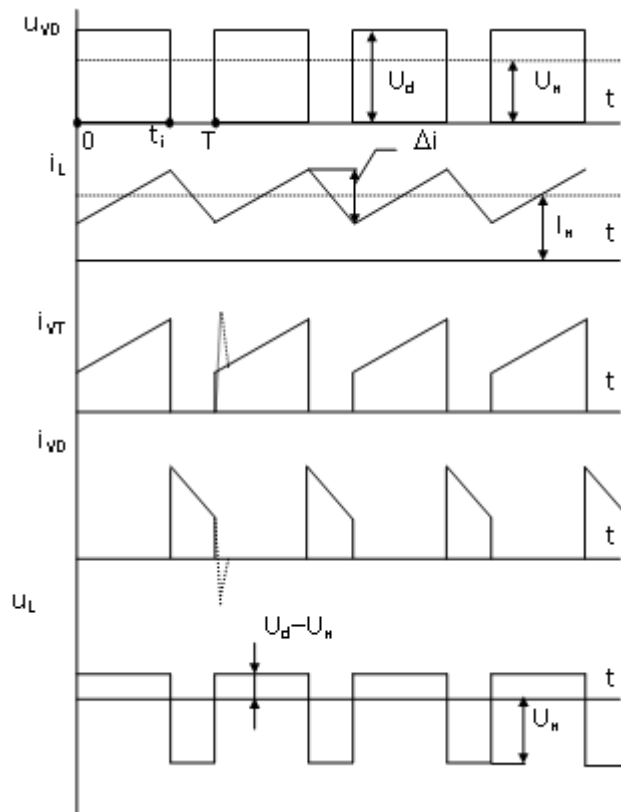


Рис. 2.9 Режим безперервного протікання струму в дроселі

Очевидно, що цей струм спадає також за лінійним законом:

$$i_L(t) = i_L(ti) - U_H t / L . \quad (2.19)$$

де $i_L(ti)$ – струм дроселя в момент розмикання ключа. Таким чином, струм в дроселі пульсує щодо свого середнього значення I_H , яке дорівнює середньому значенню струму в навантаженні :

$$I_H = U_H / R_H \quad (2.2)$$

Очевидно, що коли амплітуда пульсацій струму в дроселі $\Delta i / 2$ буде більшою, ніж середнє значення струму I_H , в дроселі буде мати місце режим переривчастого струму. Враховуючи, що

$$\Delta i = (U_d - U_H)ti / L \quad (2.21)$$

можна визначити мінімальну індуктивність дроселя, при якій ще забезпечується режим безперервного протікання струму (критична індуктивність):

$$L_{кр} = R_H t_n / 2 \quad (2.22)$$

Вважається за доцільне виконання такого умови:

$$deli = (0,5...1...1,5)I_H \quad (2.23)$$

Режим переривчастого протікання струму в дроселі

Розглянемо роботу перетворювача в режимі перервного струму. В інтервалі $0...t_i$ транзистор відкритий (ключ закритий) і струм в дроселі зростає. В інтервалі $t_i...T$ ключ розімкнутий і струм дроселя зменшується, протікаючи через діод VD , який в цей час відкритий. Напруга на вході фільтра $U_{VD} = 0$. У момент часу t' струм дроселя спадає до нуля і діод VD закривається. До моменту наступного замикавання ключа $t = T$ струм дроселя, а також і напруга на ньому дорівнюють нулю. До діоду VD прикладена напруга U_H . Оскільки середнє значення напруги на індуктивності $U_L = 0$, середнє значення напруги на навантаженні U_H дорівнює середньому значенню напруги на діоді U_{VD} . На рис. 2.9 видно, що U_H буде більшою, ніж U_d , на величину площі заштрихованої ділянки інтервалу $t'...T$. Згідно критичній індуктивності при збільшенні опору навантаження R_H тривалість інтервалу $t'...T$ зростатиме. Отже, середнє значення вихідної напруги U_H зростатиме по відношенню до середнього значення напруги в режимі безперервного протікання струму U_d .

У режимі перервного протікання струму дроселя середнє і діюче значення струму в елементах регулятора значно відрізняються, тому втрати потужності в елементах регулятора будуть більшими, ніж в режимі безперервного струму дроселя. Таким чином, гірші енергетичні показники, а також залежність вихідної напруги від опору навантаження є головними недоліками режиму перервного струму дроселя в імпульсних регуляторах на ідеальних ключах.

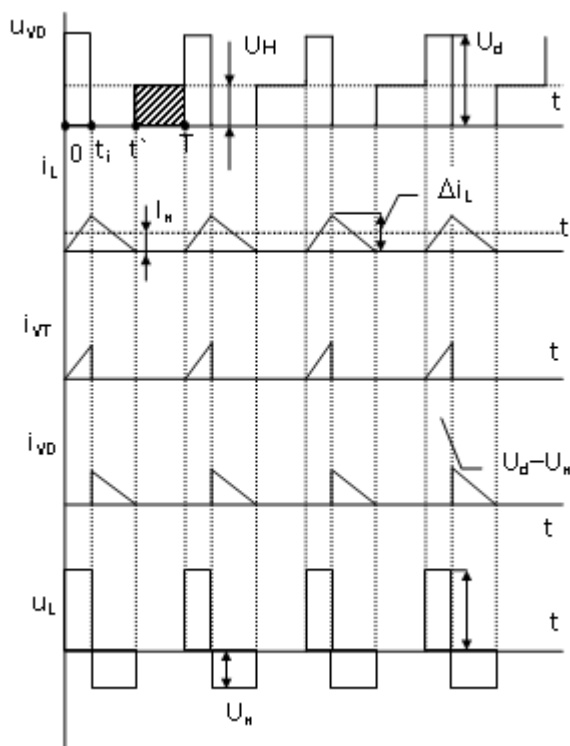


Рис. 2.9 Перервного протікання струму в дроселі

Якщо враховувати, що реальні силові напівпровідникові прилади, зокрема діод VD , не є ідеальними ключами, режим перервного струму дроселя може мати певні переваги. Відомо, що коли через діод протікав струм, а потім до нього раптово прикласти зворотну напругу, протягом певного часу $t_{\text{вук}}$, поки діод відновлює свій зворотній опір, через нього буде протікати струм у зворотному напрямку. Оскільки діод не може закритися миттєво, на інтервалі відновлення його вентиляльних властивостей опір елементів VT і VD дуже малий і по ланцюгу $(+U_d) - VT - VD - (-U_d)$ короткочасно протікає струм значної величини (комутаційний струм). Цей струм значно збільшує втрати потужності в транзисторі і діод в момент комутації часто є причиною їх руйнування. На рис. 2.8 комутаційний струм діода і транзистора показаний штриховою лінією. Для зменшення комутаційного струму треба застосувати височастотні діоди з малим часом відновлення вентиляльних властивостей, або додаткові схемні рішення. Якщо ж регулятор працює в режимі перервного струму дроселя, то в

момент відкривання транзистора VT і діод VD вже закритий і комутаційний струм не виникає.

Ми все ще вважаємо, що перетворювач працює в стаціонарному режимі. Таким чином, енергія в індукторі є однаковою, як на початку так і в кінці циклу (в разі переривчастого режиму, він дорівнює нулю). Це означає, що середнє значення індуктивної напруги (U_L) дорівнює нулю:

$$(U_i - U_0)DT - U_0\delta T = 0 \quad (2.24)$$

Таким чином δ дорівнює:

$$\delta = \frac{U_i - U_0}{U_0} D \quad (2.25)$$

$$I_0 = \frac{(U_i - U_0)DT(D + \frac{U_i - U_0}{U_0}D)}{2L} \quad (2.26)$$

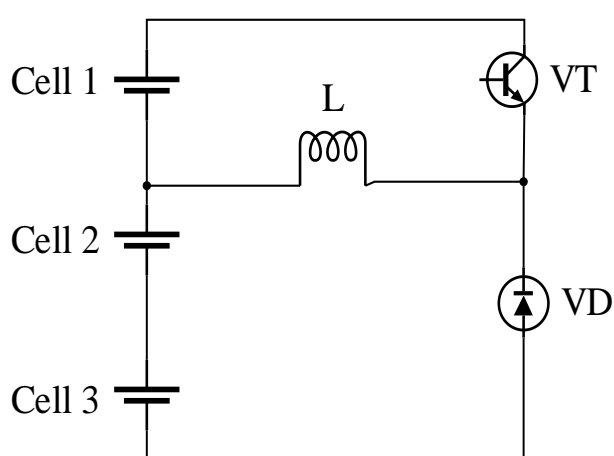
$$U_0 = U_i \frac{1}{\frac{2LI_0}{D^2 U_i T} + 1} \quad (2.27)$$

Можна побачити, що форма вихідної напруги понижуючого перетворювача, що працює в переривчастому режимі, є набагато складнішою, ніж її аналог в безперервному режимі. Крім того, вихідна напруга тепер залежить не тільки від вхідної напруги (U_i) і робочого циклу D , але й від індуктивності котушки (L), періоду комутації (T) і вихідного струму (I_0).

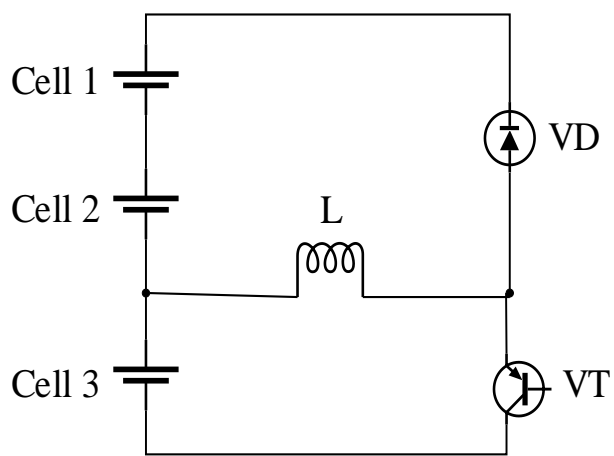
3. ВАРІАНТИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У ЯКОСТІ БАЛАНСИРІВ

3.1 Приклади схем підключення перетворювачів

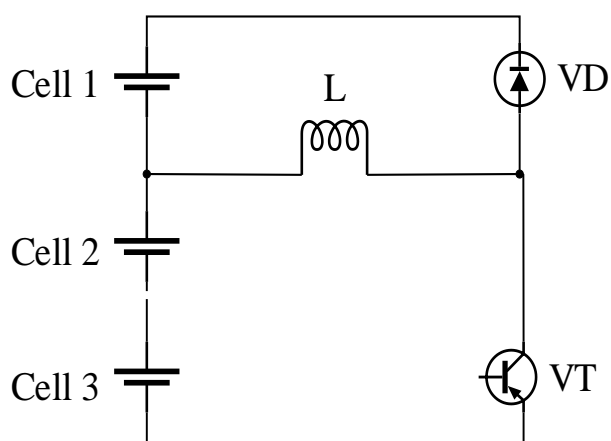
Для трьох послідовно з'єднаних акумуляторів, були розроблені можливі схеми ввімкнення перетворювачів для перекидання заряду між комірками (рис. 3.1).



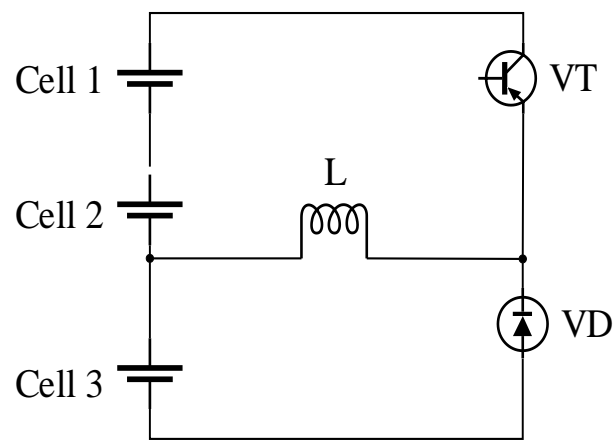
A)



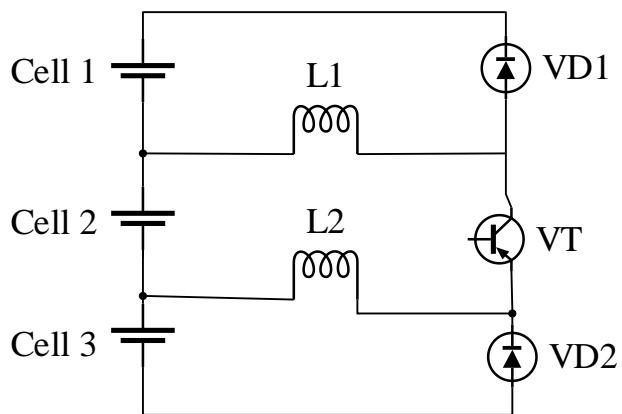
B)



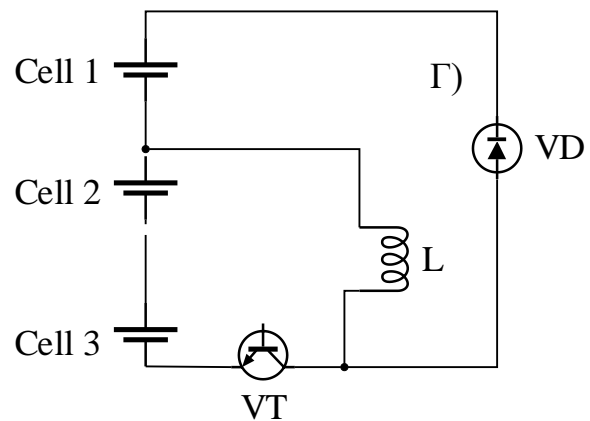
B)



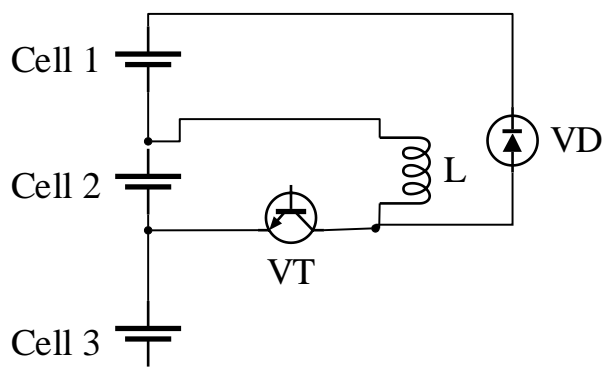
Г)



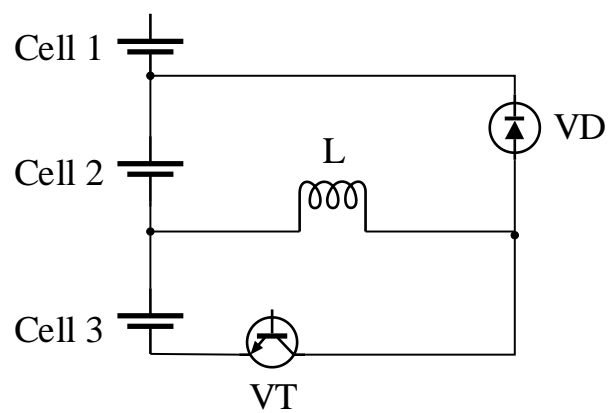
Д)



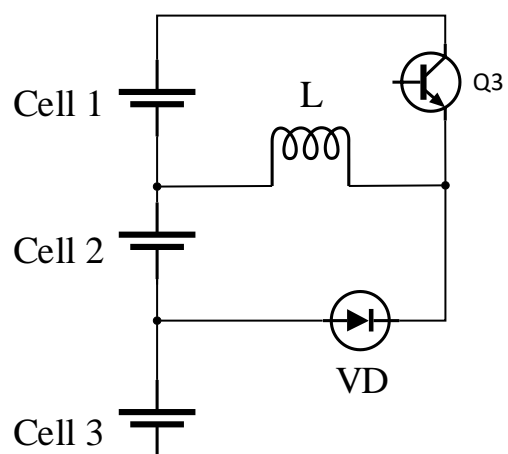
Е)



Е)



Ж)



3)

Рис. 3.1

3.2 Опис розроблених схем

Було розроблено можливі варіанти підключення перетворювачів трьох послідовно з'єднаних акумуляторів, але це лише для прикладу. Загальна робота була виконана для N -ї кількості акумуляторів. Дані схеми являють собою пристрій для передачі енергії від більш зарядженого акумулятора до менш заряджених. На рис. 3.1 зображено всі варіанти схем.

На рис. 3.1,а показано, що при відкритому транзисторі (VT), струм протікає через дросель (L), запасаючи в ньому певну енергію від першого акумулятора ($Cell 1$). При закритому транзисторі (VT), енергія, яка була в котушці віддається на інші два акумулятори ($Cell 2$ і $Cell 3$), розряджаючись через діод (VD). В програмному коді дана схема позначена як $P1$. Якщо від першого акумулятора візьмемо для прикладу 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на три елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 33 mAh.

Кількість енергії в першому акумуляторі буде визначатися за такою формулою:

$$E1 = E1' - kI + \frac{kI}{3}. \quad (3.1)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, kI – кількість енергії, яку забираєм від першого акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься так:

$$E2 = E2' + \frac{kI}{3}. \quad (3.2)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії в акумуляторі, kI – кількість енергії, яку забираєм від першого акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в третьому акумуляторі, визначатиметься за такою формулою:

$$E3 = E3' + \frac{kI}{3}, \quad (3.3)$$

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $E3'$ – попереднє значення енергії в акумуляторі, $k1$ – кількість енергії, яку забираєм від першого акумулятора.

На рис. 3.1, б зображена схема відображає передачу енергії від акумулятора *Cell3* до інших двох (*Cell1* і *Cell2*). При відкритому транзисторі (*VT*), струм протікає від *Cell3* через дросель (*L*), тим самим заряджаючи її певною енергією. При закритті транзистора, заряджена котушка починає віддавати енергію іншим акумуляторам (*Cell1* і *Cell2*), розряджаючись через діод (*VD*). В програмному коді дана схема позначена як *P2*. Якщо від третього акумулятора візьмемо для прикладу 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на три елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 33 mAh.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E1 = E1' + \frac{k3}{3}. \quad (3.4)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде на другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' + \frac{k3}{3}. \quad (3.5)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E3 = E3' - k3 + \frac{k3}{3} \quad (3.6)$$

де $E3'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

На рис. 3.1, в показано, що при відкритому транзисторі (VT), струм від акумуляторів ($Cell 2$ та $Cell 3$) заряджає дросель (L). Коли транзистор закривається, енергія дроселя проходячи через діод (VD), ввідається $Cell 1$. Таким чином, за рахунок нижніх двох акумуляторів заряджається верхній. В програмному коді дана схема позначена як $P3$. Якщо від третього і другого акумуляторів візьмемо для прикладу по 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на три елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 66 mAh.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E1 = E1' + \frac{k2 + k3}{3}. \quad (3.7)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' - k2 + \frac{k2 + k3}{3}. \quad (3.8)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в третьому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E3 = E3' - k3 + \frac{k2 + k3}{3}. \quad (3.9)$$

де $E3'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

На рис. 3.1,г відображає зарядку двох акумуляторів (*Cell 1* і *Cell 2*) за рахунок нижнього акумулятора (*Cell 3*). При відкритті транзистора (*VT*), відбувається накопичення енергії в дроселі (*L*). При закриванні транзистора, накопичена енергія в дроселі віддається акумулятору (*Cell 3*) і розряджається через діод (*VD*). В програмному коді дана схема позначена як *P4*. Якщо від третього акумулятора візьмемо для прикладу 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на три елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 33 mAh.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E1 = E1' + \frac{k3}{3}. \quad (3.10)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' + \frac{k3}{3}. \quad (3.11)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в третьому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E3 = E3' - k3 + \frac{k3}{3}. \quad (3.12)$$

де $E3'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

На рис. 3.1,д зображена схема, в якій відбувається підзарядка двох акумуляторів (*Cell 1* і *Cell 3*) за рахунок одного (*Cell 2*). При відкритті транзистора (*VT*), відбувається накопичення енергії в дроселях (*L1* та *L2*). Коли транзистор закривається, дросель *L1* розряджається через діод *VD1*,

тим самим заряджає акумулятор *Cell 1*. В той самий час дросель *L 2* віддає накопичену енергію акумулятору *Cell 3*, розряджаючись через діод *VD 2*. В програмному коді дана схема позначена як *P5*. Якщо від другого акумулятора візьмемо для прикладу 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на три елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 33 mAh.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E1 = E1' + \frac{k2}{3}. \quad (3.13)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' - k2 + \frac{k2}{3}. \quad (3.14)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в третьому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E3 = E3' + \frac{k2}{3}. \quad (3.15)$$

де $E3'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора.

На рис. 3.1,е зображена схема, в якій відбувається підзарядка акумулятора *Cell 1* за рахунок двох інших (*Cell 2* та *Cell 3*). При відкритому транзисторі (*VT*), накопичується енергія в дроселі (*L*). Коли транзистор закривається, дросель розряджається через діод (*VD*), тим самим заряджаючи акумулятор *Cell 1*. В програмному коді дана схема позначена як *P6*. Якщо від другого та третього акумуляторів візьмемо для прикладу по

100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на три елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 66 mAh.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E1 = E1' + \frac{k2 + k3}{3}. \quad (3.16)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' - k2 + \frac{k2 + k3}{3}. \quad (3.17)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в третьому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E3 = E3' - k3 + \frac{k2 + k3}{3}. \quad (3.18)$$

де $E3'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

На рис. 3.1, є зображена схема, яка відображає підзарядку акумулятора *Cell 1* за рахунок акумулятора *Cell 2*. При відкритому транзисторі (VT), відбувається накопичення енергії в дроселі (L) від акумулятора *Cell 2*. Коли транзистор закривається, накопичена енергія дроселя через діод віддається акумулятору *Cell 1*, тим самим підзаряджаючи його. В програмному коді дана схема позначена як *P7*. Якщо від першого акумулятора візьмемо для

прикладу 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на два елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 50 mAh.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E1 = E1' + \frac{k2}{2}. \quad (3.19)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' - k2 + \frac{k1 + k2}{2}. \quad (3.20)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k2$ – кількість енергії, яку забираєм від другого акумулятора. Кількість енергії, яка була в 3 акумуляторі не зміниться.

На рис. 3.1,ж зображена схема, яка відображає підзарядку акумулятора *Cell2* за рахунок акумулятора *Cell3*. При відкриванні транзистора (VT), відбувається накопичення енергії дроселем (L). Коли транзистор закривається, дросель стає джерелом струму і віддає свою енергію через діод (VD) акумулятору *Cell2*. В програмному коді дана схема позначена як *P8*. Якщо від третього акумулятора візьмемо для прикладу 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на два елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 50 mAh.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' + \frac{k3}{2}. \quad (3.21)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в третьому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E3 = E3' - k3 + \frac{k3}{2}. \quad (3.22)$$

де $E3'$ – попереднє значення енергії, $k3$ – кількість енергії, яку забираєм від третього акумулятора. Кількість енергії на першому акумуляторі не зміниться.

На рис. 3.1,з зображена схема, яка відображає підзарядку акумулятора *Cell2* за рахунок акумулятора *Cell1*. Коли транзистор (VT) відкритий, відбувається накопичення енергії в дроселі (L). При закриванні транзистора, накопичена енергія в дроселі віддається акумулятору *Cell2*, розряджаючись через діод (VD). В програмному коді дана схема позначена як *P9*. Якщо від першого акумулятора візьмемо для прикладу 100 mAh, то ця енергія відповідно розподілиться порівну на два елементи. Тобто кожний акумулятор прийме по 50 mAh.

Кількість енергії, яка буде в першому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E1 = E1' - k1 + \frac{k1}{2}. \quad (3.23)$$

де $E1'$ – попереднє значення енергії, $k1$ – кількість енергії, яку забираєм від першого акумулятора.

Кількість енергії, яка буде в другому акумуляторі визначатиметься за формулою:

$$E2 = E2' + \frac{k1}{2}. \quad (3.24)$$

де $E2'$ – попереднє значення енергії, $k1$ – кількість енергії, яку забираєм від першого акумулятора. Кількість енергії в третьому акумуляторі не зміниться.

4. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ-СИМУЛЯТОРА ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АКБ

4.1 Блок схема роботи програми-симулятора

Одним із важливих пунктів даного проекту – це розробка програми симулятора для балансування N -ї кількості послідовно з'єднаних акумуляторів. Для повного розуміння роботи програми-симулятора була створена блок-схема (рис. 4.1).

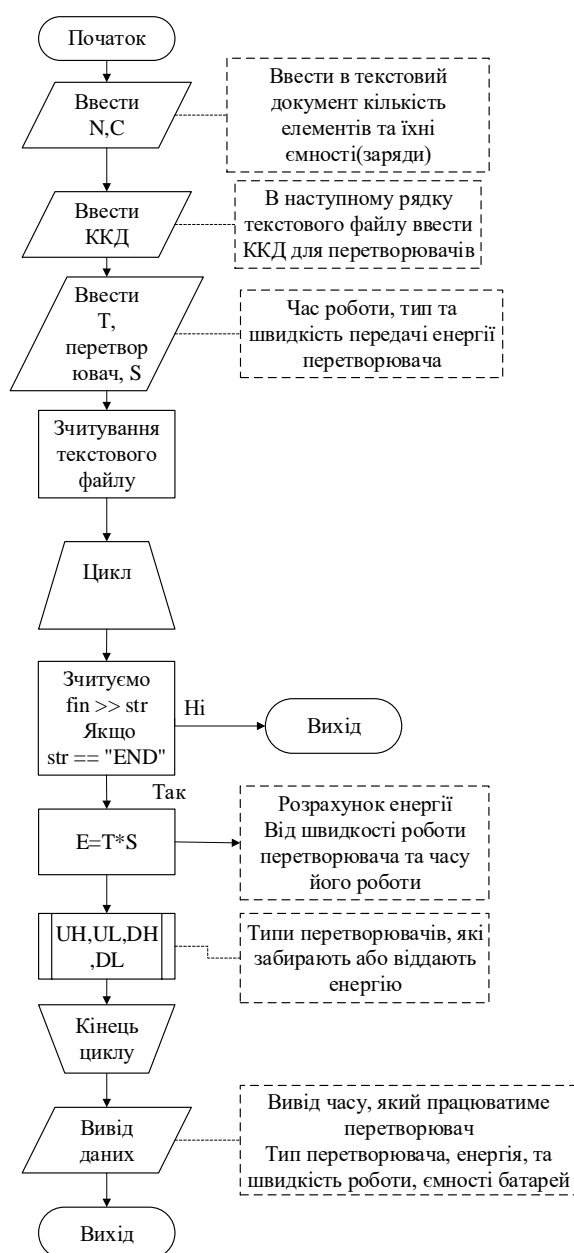


Рис. 4.1 Блок-схема роботи програми-симулятора

4.2 Опис роботи програми

Дана програма була розроблена на такій мові програмування, як C++. В програмі відбувається розрахунок переданої енергії при використанні чотирьох схем у якості балансирів: підвищуючий перетворювач зі спільним «+» та зі спільним «-» відповідно, понижуючий перетворювач зі спільним «+» та зі спільним «-». Опис даних схем був наведений в попередніх пунктах. В програмі-симуляторі, вони відповідно позначаються: «UH», «UL», «DH», «DL». Програма-симулятор показує передачу енергії за допомогою перетворювачів до інших комірок.

В текстовому файлі користувач в першому рядку вказує кількість акумуляторів (N) та їхні ємності(номінали) відповідно (рис. 4.2).



Рис. 4.2 Кількість акумуляторів та їхні ємності

В наступному рядку текстового файлу вказується ККД кожного перетворювача (рис. 4.3).



Рис. 4.3 ККД для кожної схеми перетворювача

В наступних рядках користувач повинен ввести тривалість ітерації, номер перетворювача, який буде використовуватись відповідно до позначень наведених вище та швидкість передачі енергії за одиницю часу. Кількість перетворювачів може бути довільною в одному рядку. Кінець цього рядка повинен закінчуватися словом «END» для коректної роботи програми (рис. 4.4).

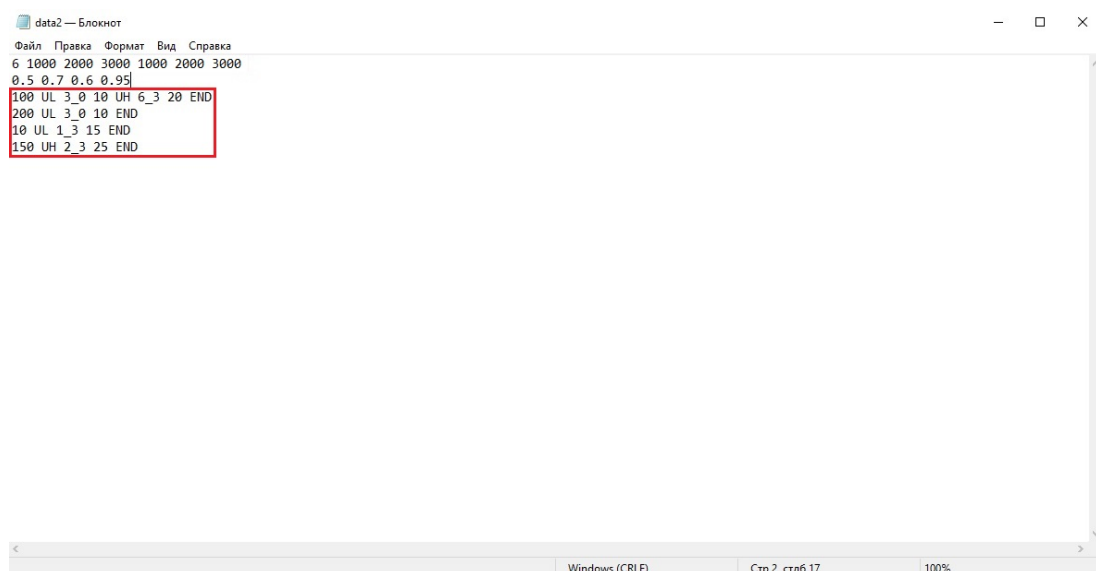


Рис. 4.4 Рядок для вводу тривалості ітерації, номер перетворювача та швидкість передачі енергії.

Після запуску програми, відбувається зчитування текстового файлу, після чого в консолі виводиться кількість ітерацій, номер перетворювача, який працював, та кількість енергії, яка перерозподілялась між тою кількістю акумуляторів, яку користувач ввів в текстовому файлі (рис. 4.5).

```

C:\Users\stas1\Desktop\123\main.exe
T = 100    Преобразователь UL E = 1000    Преобразователь УН E = 2000
Емкости: 1100 2100 3100 900 1900 2900

T = 200    Преобразователь UL E = 2000
Емкости: 633.333 1633.33 2633.33 1366.67 2366.67 3366.67

T = 10     Преобразователь UL E = 150
Емкости: 646.458 1646.46 2646.46 1379.79 2379.79 3379.79

T = 150    Преобразователь УН E = 3750
Емкости: 914.315 1914.32 2914.32 1647.65 2647.65 3647.65

Для продолжения нажмите любую клавишу . . .
  
```

Рис. 4.5 Кінцевий вивід програми

5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВМИКАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ

5.1 Блок-схема алгоритму

При розробці алгоритму, було створено блок-схему алгоритму вмикання перетворювачів (рис. 5.1) та блок-схему алгоритму балансування (рис. 5.2) для чіткого розуміння кроків, які відбуваються в програмі.

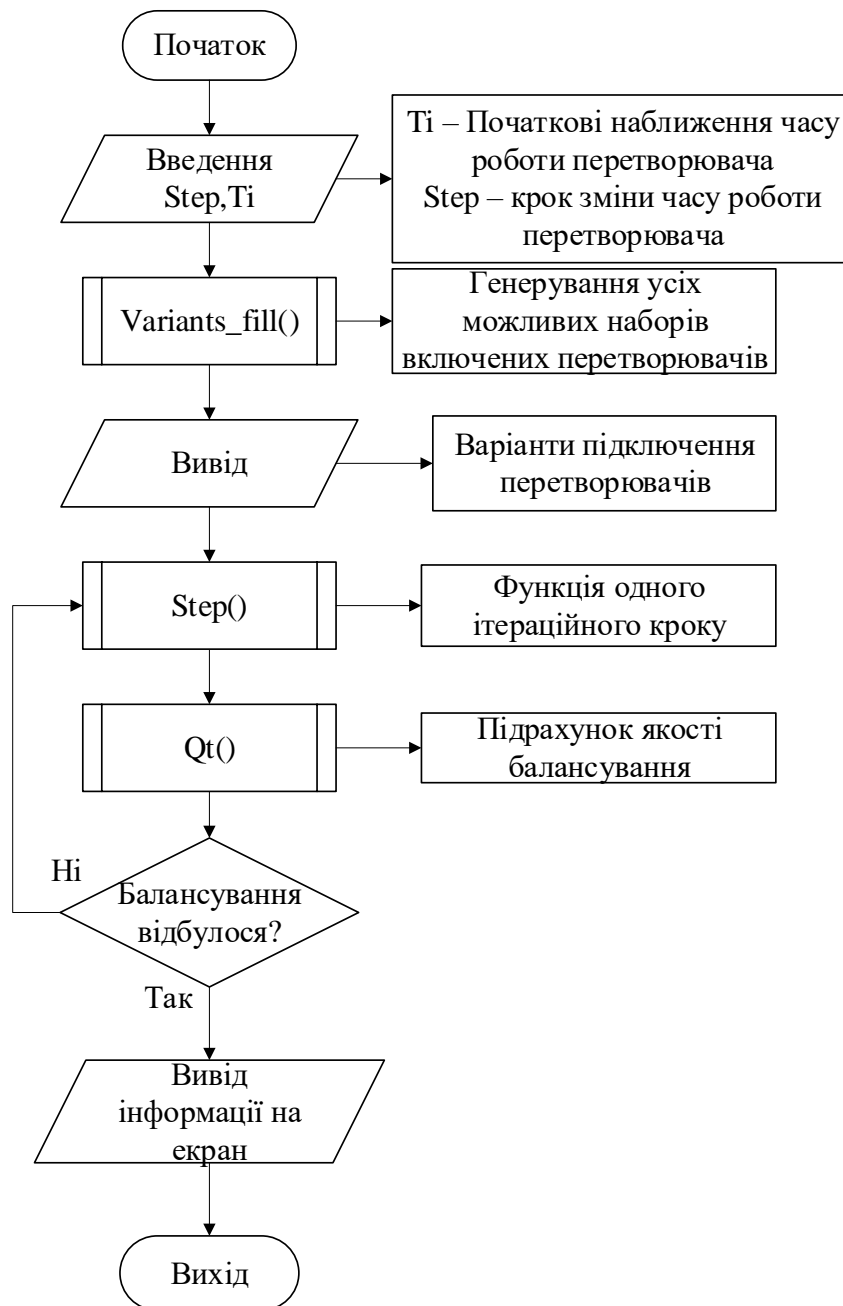


Рис. 5.1 Блок-схема роботи програми для алгоритму вмикання перетворювачів

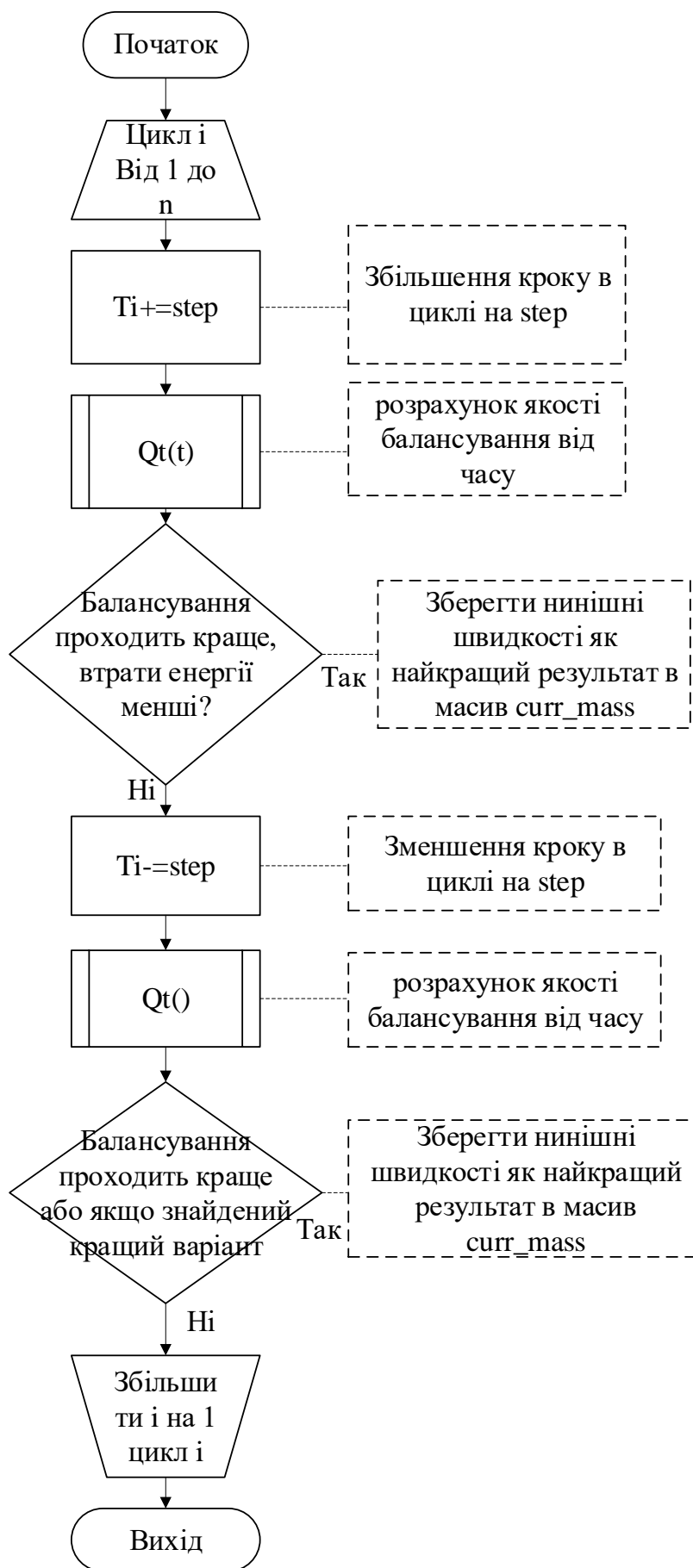


Рис. 5.2 Блок-схема роботи алгоритму для балансування

5.2 Опис роботи програми

Для створення алгоритму і наглядного принципу його роботи, була розроблена програма. Для коректної роботи були створені такі функції:

- variants_fill();
- variants_print();
- connection_print();
- calc_next_energy();
- energy_print_t();
- init_E();
- energy_print();
- KKD_fill();
- absf();
- Qt();
- Q();
- mas_print();
- step();

Variants_fill()

Це функція перебору для можливих варіантів підключення перетворювачів. Для підключення одного перетворювача, потрібно під'єднати три виводи до акумуляторів із чотирьох можливих, при кількості елементів – 3. Таким чином дана функція перебирає можливі варіанти в залежності від кількості акумуляторів. Перебір відбувається за допомогою циклу, в якому перевіряється чи останній розряд одиничка. Виводяться всі можливі варіанти комбінацій на екран.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Variants_print()

Функція призначена для коректного послідовного виводу комбінацій, які були розраховані в variants_fill, оскільки всі значення виводилися задом наперед, адже перевірка була з останнього розряду. Для позначення підключеного дроту використовується позначення «X», для не підключеного «0» (рис. 5.3).

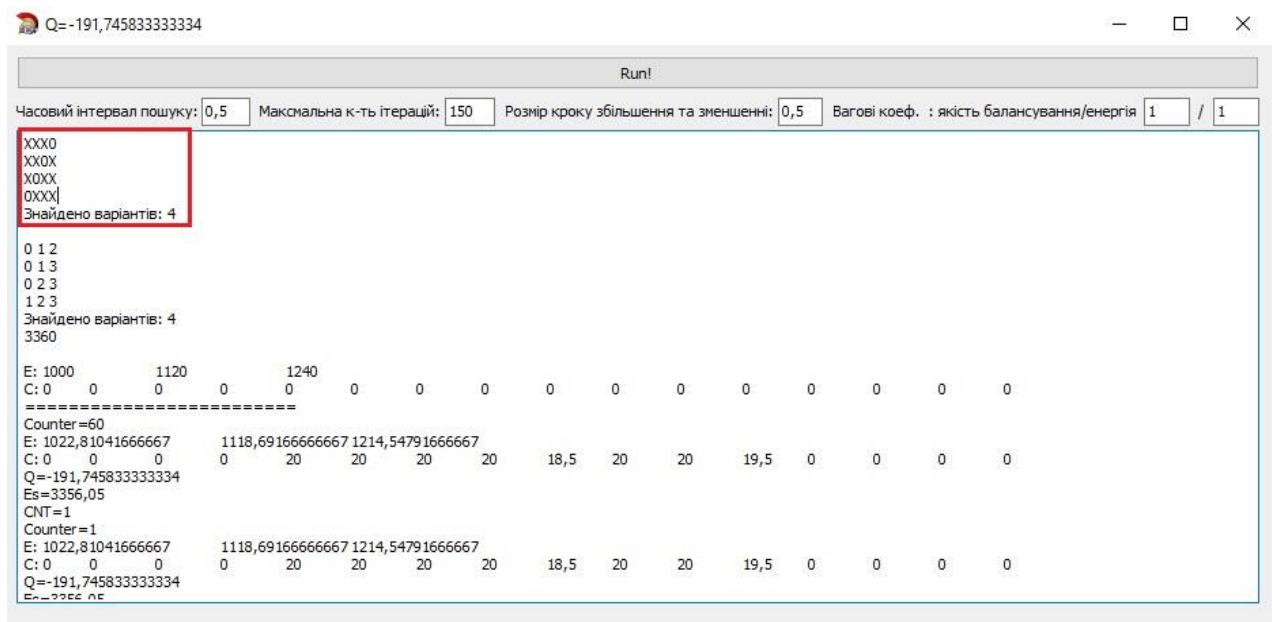


Рис. 5.3 Варіанти підключення перетворювача

Connetction_print()

Функція знаходить варіанти підключення перетворювача і виводить їхнє підключення у вигляді десяткових чисел та у зростанні, тобто до яких точок можна підключити перетворювач в залежності від кількості акумуляторів і виводить загальну кількість варіантів. (рис. 5.4).

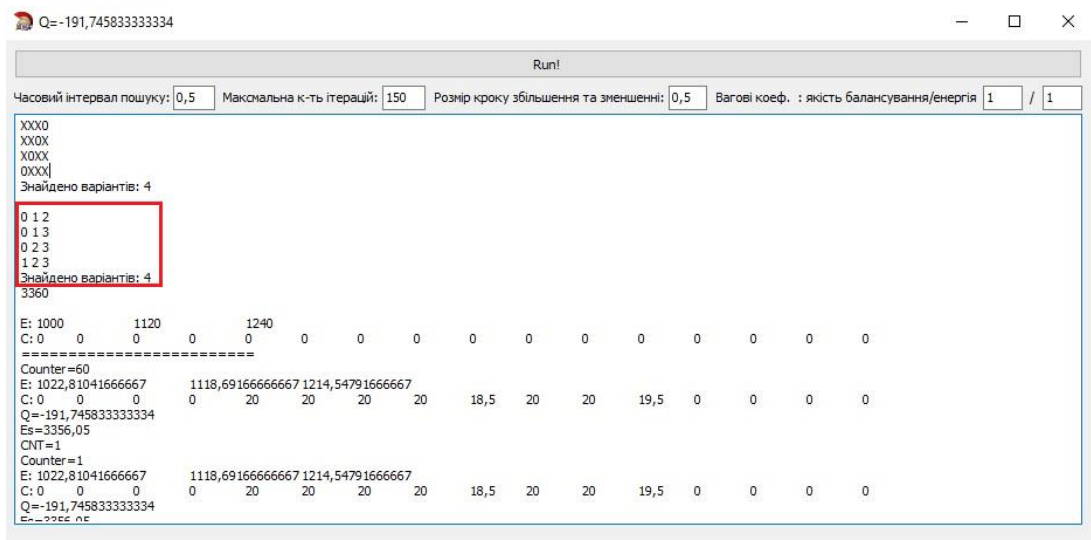


Рис. 5.4 Варіанти підключення перетворювача у десяткових числах

Calc_next_energy()

Функція, яка описує 4 типи перетворювачів, які використовуються у якості балансирів:

- підвищуючий перетворювач;
- понижуючий перетворювач;
- підвищуючий інвертуючий перетворювач;
- понижуючий інвертуючий перетворювач.

В даній функції відбувається перебір варіантів масиву з 0 по можливі комбінації ввімкнення перетворювачів. Перетворювач може як забирати, так і віддавати енергію. Перетворювач буде забирати енергію з тих елементів, які будуть позначені меншими номіналами, а віддавати енергію буде тим елементам з мінімальним номіналом підключеного виводу до максимального номіналу виводу. В кожному типі перетворювача вказується формула для розрахунку енергії.

$$E = temp_mass * T. \quad (5.1)$$

temp_mass – масив, в якому зберігаються швидкості роботи перетворювачів. Задається цикл, в якому робиться перебір по всіх елементах і відповідно забирається або віддається енергія.

Energy_print_t()

Функція, яка виводить значення зарядів акумуляторів до балансування.

В даній функції здійснюється сума всіх значень заряду акумуляторів в тимчасовому масиві E_temp (рис. 5.5).

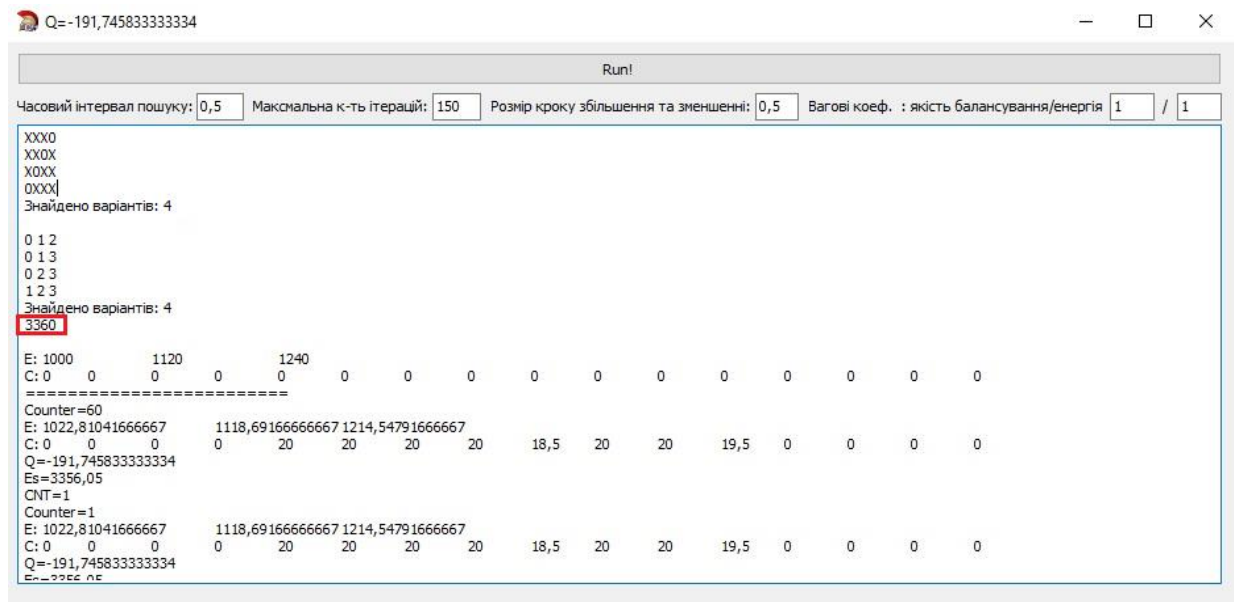


Рис. 5.5 Сума всіх значень акумуляторів

Init_E()

Функція, яка виконує ініціалізацію значень енергії акумуляторів. В даній функції виконується розкид значень зарядів акумуляторів і виводяться в форму.

$$E_curr[i] = 1000 + i * 120. \quad (5.2)$$

За даною формулою задаються значення зарядів.

Перший елемент буде мати 1000 mAh, а кожний наступний акумулятор буде мати значення на 120 більше за попереднє (рис. 5.6).



Рис. 5.6 Розкид значень акумуляторів

Energy_print()

Функція, яка рахує суму значень зарядів акумуляторів в поточному масиві E_curr .

KKD_fill()

Функція задання коефіцієнта корисної дії. В даній функції, задається значення ККД для чотирьох типів перетворювачів, які в подальшому враховуються при розрахунку віддавання або прийняття енергії перетворювачами.

Absf()

Функція модуля значень. Можна було б ввімкнути математичну бібліотеку, але в ній рахуються значення типу double, які збільшують час розрахунку. Для наших обчислень достатньо значень типу float, тому функція прописана вручну, для оптимізації часу розрахунку.

Qt()

Функція розрахунку поточної якості балансування в масиві E_temp, тобто наскільки якісно(рівно) збалансовані акумулятори після кожної

ітерації. Для розрахунку знаходиться сума всіх зарядів, знаходиться середнє арифметичне значення. Далі рахується модуль різниці всіх зарядів і віднімається від середнього арифметичного значення кожного значення комірки і сумується.

Q0

Функція розрахунку якості балансування в поточному масиві, де зберігаються кращі результати – E_surr. Для розрахунку знаходиться сума всіх зарядів, знаходиться середнє арифметичне значення. Далі рахується модуль різниці всіх зарядів і віднімається від середнього арифметичного значення кожного значення комірки і сумується.

Mas_print()

Функція, яка виводить значення коефіцієнтів швидкості роботи перетворювачів з поточного масиву surr_mas, до якого заносились кращі підібрані швидкості (рис. 5.7).

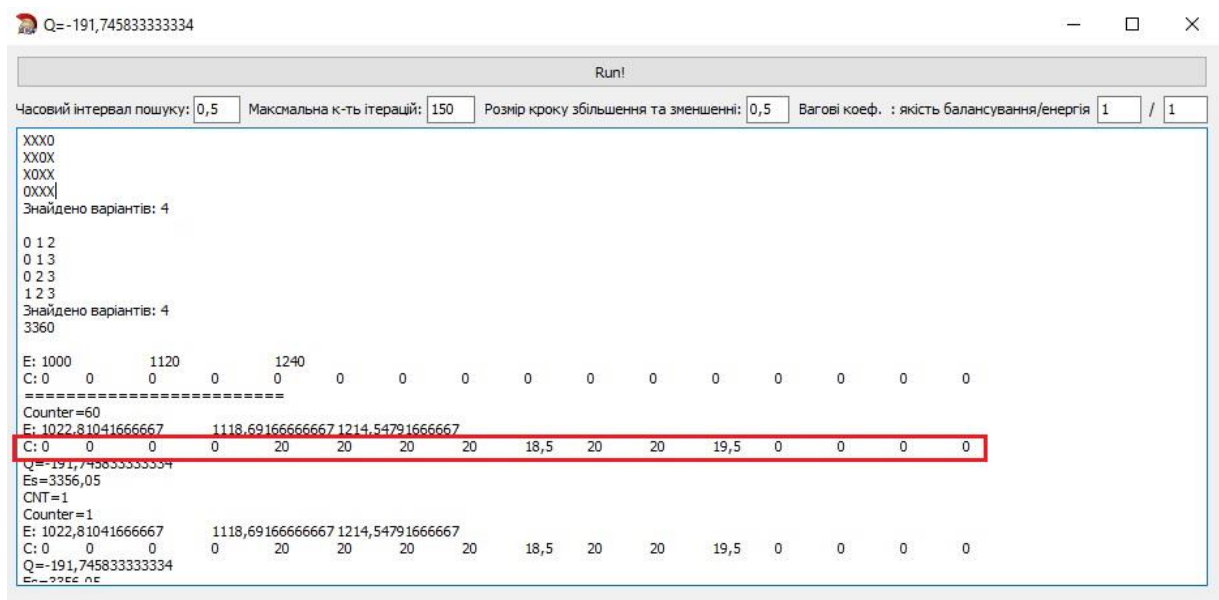


Рис. 5.7. Коефіцієнти швидкості роботи перетворювачів

Step()

Функція, в якій описується алгоритм балансування акумуляторів. Алгоритм здійснюється ітераційним перебором. Береться перший елемент і підбирається коефіцієнт швидкості, спочатку збільшується на крок(step_size), рахується значення енергії елемента за 1 секунду. Якщо обчислена кількість енергії краща за попередню(до збільшення кроку), то дане значення коефіцієнта та енергії копіюється з тимчасового масиву, з якими проводимо обрахунки до поточного. Якщо обчислене значення енергії гірше попереднього, то робимо зменшення кроку в протилежну сторону від початкового. Обчислюємо значення енергії елемента за 1 секунду. Якщо значення енергії краще, ніж при обчисленні з додаванням кроку(step_size), то значення коефіцієнту та енергії копіюється до поточного масиву. Далі береться другий елемент і проходить ті ж самі кроки, поки не буде знайдено найкращі швидкості роботи перетворювачів. Дані кроки будуть виконуватися до тих пір, поки різниця зарядів між акумуляторами не буде мінімальною.

Для оптимізації були введені вагові коефіцієнти якості балансування та втрати енергії. За допомогою цих коефіцієнтів можна вибирати, що важливіше якість балансування чи втрати енергії. В інтерфейс програми винесені основні параметри для зміни:

- часовий інтервал пошуку;
- максимальна кількість ітерацій;
- розмір кроку;
- ваговий коефіцієнт якості балансування;
- ваговий коефіцієнт втрати енергії;

Для шести послідовно з'єднаних акумуляторів балансування відбулося за 2 кроки. Втрати енергії – 99.889 mAh, якість балансування – 1079.23 (рис.5.8).

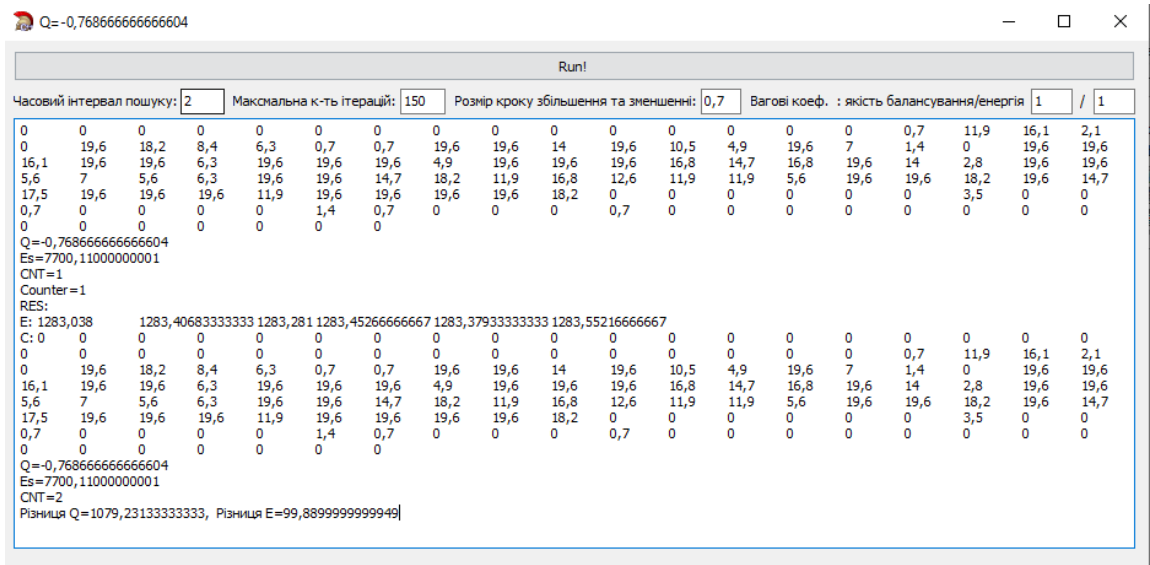


Рис. 5.8 Балансування шести акумуляторів

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Результатом цього проекту є розробка алгоритму ввімкнення перетворювачів для балансування літєвих акумуляторів, а саме літій-іонних акумуляторів.

В результаті аналізу було вибрано та досліджено типи перетворювачів, які були використані як балансири. Досліджено можливі варіанти підключення перетворювачів до послідовно з'єднаних акумуляторів. Було розроблено програму-симулятор для балансування елементів АКБ, яка виконувала передачу енергії для N-ї кількості послідовно з'єднаних акумуляторів (Додаток А).

Створено алгоритм ввімкнення перетворювачів та розроблена програма, яка наглядно показує роботу алгоритму (Додаток Б).

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рикованов О.С., Беляєв С. Активні і пасивні системи балансування Li-ion акумуляторних батарей // Компоненти і технології. 2014. № 3. С. 121-124. URL: <http://techjournals.ru/journ/elektronika/8167-komponenty-i-tehnologii-3-mart-2014.html>.
2. Рикованов О.С. Системи балансування Li-ion акумуляторних батарей // Силова електроніка 2009. № 1. С. 52-55. URL: http://www.power-e.ru/pdf/2009_1_52.pdf.
3. Golubkov A. W. et al. Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes //RSC Advances. – 2014. – Т. 4. – №. 7. – С. 3633-3642.
4. Nedjalkov A. et al. Toxic Gas Emissions from Damaged Lithium Ion Batteries—Analysis and Safety Enhancement Solution //Batteries. – 2016. – Т. 2. – №. 1. – С. 5.
5. Zhao R., Liu J., Gu J. Simulation and experimental study on lithium ion battery short circuit //Applied Energy. – 2016. – Т. 173. – С. 29-39.
6. Petzl M., Danzer M. A. Nondestructive detection, characterization, and quantification of lithium plating in commercial lithium-ion batteries //Journal of Power Sources. – 2014. – Т. 254. – С. 80-87.
7. Jaguemont J. et al. Low temperature aging tests for lithium-ion batteries //Industrial Electronics (ISIE), 2015 IEEE 24th International Symposium on. – IEEE, 2015. – С. 1284-1289.
8. Huang C. K. et al. The limits of low-temperature performance of Li-ion cells //Journal of The Electrochemical Society. – 2000. – Т. 147. – №. 8. – С. 2893-2896.
9. .Chen K. et al. Evaluation of the low temperature performance of lithium manganese oxide/lithium titanate lithium-ion batteries for start/stop applications //Journal of Power Sources. – 2015. – Т. 278. – С. 411-419.

10. Belov D., Yang M. H. Failure mechanism of Li-ion battery at overcharge conditions //Journal of Solid State Electrochemistry. – 2008. – Т. 12. – №. 7-8. – С. 885-894.

11. Dahn J. R. et al. Thermal stability of Li_xCoO_2 , Li_xNiO_2 and $\gamma\text{-MnO}_2$ and consequences for the safety of Li-ion cells //Solid State Ionics. – 1994. – Т. 69. – №. 3-4. – С. 265-270.

12. Wu C. et al. Research on overcharge and overdischarge effect on lithium-ion batteries //Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2015 IEEE. – IEEE, 2015. – С. 1-6.

13. Guo R. et al. Mechanism of the entire overdischarge process and overdischargeinduced internal short circuit in lithium-ion batteries //Scientific Reports. – 2016. – Т. 6.

14. Перетворювальна техніка : підручник / В. С. Руденко, В. Я. Ромашко, В. Г. Морозов. — К. : ІСДО, 1996. — Частина 1. — 262 с.

15. Чудінов Є.О.// Хімія і хімічна технологія. – 2005. – Т.48. – С. 45-49.

16. Садовников А. В., Макарчук В. В. Литий-ионные аккумуляторы // Молодой ученый. — 2016. — №23. — С. 84-89. — URL <https://moluch.ru/archive/127/35051/>.

17. Кедринський І.А., Яковлев В.Г. Літій-іонні акумулятори. – Красноярськ: Платіна, 2002.–268 с.

18. Нікітін А. Все для літій-іонних акумуляторів: мікросхеми STM для зарядних пристроїв та моніторингу батареї // Новини електроніки. – 2013. – №2. – С. 21-26. – URL: <http://www.compel.ru/lib/ne/2013/2/4-vse-dlya-litievyyih-akkumulyatorov-micro-shemyi-stm-dlya-zaryadnyih-ustroystv-i-monitoringa-batarey>.

19. Охрименко В. Інтелектуальні контролери зарядки акумуляторів // Електронні компоненти. – 2011. – №6. – С. 85-88.

20. Гудзєєв А.І. Концепція побудови систем контролю і управління високоенергоємнісних літєвих акумуляторних батареї // Електрохімічна енергетика. – 2005. – Т.5. – №2. – С. 90-93.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Сихуа Вен. Вирівнювання параметрів секцій акумулятора забезпечує додатковий час роботи і збільшує срок служби акумуляторних батарей//Компоненти ТІ: Бюлетень науково-технічної інформації. – 2011. – Вип.2(30). – С. 44-48.

22. Носов Н. Особливості зарядки послідовних акумуляторів [Електронний ресурс] / Микола Носов // Мобіповер. – 2010. – Режим доступу до ресурсу : <http://www.mobipower.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=293>.

23. Смотров Е.А. Системи балансування акумуляторних батарей [Електронний ресурс] / Е. А. Смотров, Д. І. Акшинцев, В. В. Суботін, А. Ю. Сусленко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2013. – Вип. 11. – С. 38-48. – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2013_11_7.

24. Мищенко В. І. Балансувальник заряду ER122 [Електронний ресурс] // MicroWatt. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://microwatt.com.ua/catalog/balancer/ER122>.

25. Варипаєв Н. В. Хімічні джерела струму [текст]/ Н. В. Варипаєв, М. А. Нікольський. – М.: Вищ. шк., 1990. – 240 с.

					ДС52.512.215.001 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <vector>
#include <windows.h>
#include <string>
using namespace std;

int N;
ifstream fin;

void print(string str, double E)
{
    cout << "Преобразователь " << str << " E = " << E << "  ";

    //  cout << "Время: "<<T<<"  Номер преобразователя: "<<D<<"  Энергия:
    "<<E;
}

vector<double> readN()
{
    vector<double> C;
    fin >> N;
    C.resize(N);
    for(int i=0; i<N; i++)
    {
        fin >> C[i];
    }
    return (C);
}
```

```

vector<double> readKKD()
{
    vector<double> KKD;
    KKD.resize(4);
    for(int i = 0; i < 4; i++)
    {
        fin >> KKD[i];
    }
    return (KKD);
}

int main()
{
    SetConsoleCP(1251);
    SetConsoleOutputCP(1251);
    fin.open("data2.txt");

    vector<double> C;//вектор емкости батарей
        vector<double> KKD; //вектор ккд преобразователей
    C = readN();
        KKD = readKKD();

    double S;
    double T, E;
    //double L = 1;
    //double I; //ток через катушку
    int ph, pl;

    while (!fin.eof())
    {
        fin >> T;
        string str;

```

```

cout << "T = " << T << " ";
while (str != "END")
{
    fin >> str;
    if (str == "END")
    {
        break;
    }
    fin >> ph;
    fin.get();
    fin >> pl;

    fin >> S;
    E = T * S;
    //E = 0.5 * L * I * I;
        if (str.substr(0, 2) == "UH")
    {
        for (int i = 0; i < N; ++i){
            if (i + 1 > pl && i + 1 <= ph){
                C[i] -= KKD[0] * (E / (ph - pl)); // C[0] = C[0] - E;
            }
            else {
                C[i] += KKD[0] * (E / (N - (ph - pl)));
            }
        }
        print("UH", E);
    }
    else if (str.substr(0, 2) == "UL")
    {
        for (int i = 0; i < N; ++i){

```

```

        if (i + 1 > pl && i + 1 <= ph){
            C[i] -= KKD[1] * (E / (ph - pl)); // C[0] = C[0] - E;
        }
        else {
            C[i] += KKD[1] * (E / (N - (ph - pl)));
        }
    }

    print("UL", E);
}

else if (str.substr(0, 2) == "DL")
{
    for (int i = 0; i < N; ++i){
        if (i + 1 > pl && i + 1 <= ph){
            C[i] -= KKD[3] * (E / (ph - pl)); // C[0] = C[0] - E;
        }
        else {
            C[i] += KKD[3] * (E / (N - (ph - pl)));
        }
    }

    print("DL", E);
}

else if (str.substr(0, 2) == "DH")
{
    for (int i = 0; i < N; ++i){
        if (i + 1 > pl && i + 1 <= ph){
            C[i] -= KKD[2] * (E / (ph - pl)); // C[0] = C[0] - E;
        }
        else {
            C[i] += KKD[2] * (E / (N - (ph - pl)));
        }
    }
}

```

```

        }

        print("DH", E);
    }
    else {
        cout<<"Error "<<str<<endl;
    }
}

cout << endl;

cout << "Емкости: ";
for (int i = 0; i < C.size(); i++)
{
    cout << C[i] << " ";
}

cout << endl << endl;

};

system("pause");

return 0;

}

```

Додаток Б

```
#include <vcl.h>
```

```
#pragma hdrstop
```

```
#include "cb.h"
```

```
#pragma package(smart_init)
```

```
#pragma resource "*.dfm"
```

```
TForm1 *Form1;
```

```
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
```

```
    : TForm(Owner)
```

```
{
```

```
}
```

```
#define elements 3 //кількість акумуляторів
```

```
double   curr_mas[1000],   temp_mas[1000];// масив поточних значень  
коєфіцієнтів та тимчасовий масив
```

```
double   E_curr[elements],   E_temp[elements]; // масив енергії  
елементів(перетворювачів), та тимчасовий масив
```

```
double KKD[1000]; // ККД перетворювачів
```

```
int converters=12;// змінна для обрахунку функції calc_next_energy
```

```
char   variants[1000][elements+1]; //кі-сть варіантів підключення  
перетворювачів до акумуляторів
```

```
char connection_points[1000][3]; //кількість точок, до яких підключаємо  
перетворювач
```

```
int variants_max=0; // вказує максимальну кількість перетворювачів та  
комбінацій
```

```
#define mas_copymax 1000
```

```
void fill_zero_mas_curr_temp()
```

```
{  
    for (int i = 0; i < mas_copymax; i++)  
        temp_mas[i]=curr_mas[i]=0;  
}
```

```
void copy_mas_curr_to_temp()//функція копіювання масиву mass_curr в  
to_temp
```

```
{  
    for (int i = 0; i < mas_copymax; i++)  
        temp_mas[i]=curr_mas[i];//копіювання значення масиву  
mass_curr в to_temp  
}
```

```
void copy_mas_temp_to_curr()//функція копіювання масиву mas_temp в  
to_curr
```

```
{  
    for (int i = 0; i < mas_copymax; i++)  
        curr_mas[i]=temp_mas[i];//копіювання значення масиву  
mas_temp в to_curr  
}
```

```
void copy_E_curr_to_temp() //функція копіювання масиву E_curr в масив  
E_temp
```

```
{  
    for (int i = 0; i < elements; i++)  
        E_temp[i]=E_curr[i];//копіюємо значення масиву E_curr в E_temp
```

```
}
```

```
void copy_E_temp_to_curr() //функція копіювання масиву E_temp в масив  
E_curr  
{  
    for (int i = 0; i < elements; i++)  
        E_curr[i]=E_temp[i]; //копіюємо значення масиву E_temp в E_curr  
}
```

```
void init_E()//ініціалізація масиву енергії E_curr  
{  
    for(int i=0; i<elements; i++)  
        E_curr[i]=1000+i*120; //заповнення елементів(акумуляторів)  
    copy_E_curr_to_temp(); //копіюємо масив E_curr в масив to_temp  
}
```

```
void variants_fill()// функція заповнення масиву з варіантами підключення  
перетворювачів  
{  
    //до акумуляторів  
    int maxvar=1<<(elements+1); //зсув елементів(акумуляторів)  
    char ones=0; // показує скільки 1(тобто можливі варіанти підключення)  
    int n1,p,p1; //тимчасові змінні, для перебору  
    variants_max=0; //обнуляємо змінну  
    for (int n=0; n<maxvar; n++) //цикл, в якому відбувається перебір  
        можливих 1,
```



```

{ //тобто підключення перетворювачів
ones=0; // обнуляємо нашу змінну
n1=n; // n_номер розряду
while(n1>0) //цикл, в якому перевіряємо чи останній розряд
1
{
    if(n1&1) ones++;//використовуємо логічне "так" з 1,
якщо так, то збільшуємо нашу змінну ones.
    n1/=2;
}
if(ones==3)// умова, якщо змінна ones буде мати 3 одиниці
{
    p=0; p1=0; //рахівники
    //Form1->Memo1->Lines->Add(n);
    n1=n; // n_номер розряду
    while(n1>0)
    {
        if(n1&1) //перевіряємо чи останній розряд
одиничка
        {
            variants[variants_max][p]=1;//переводимо
в двійкове значення

            connection_points[variants_max][p1]=p;//якщо останній розряд 1, то
заносямо його в змінну p

            p1++;//збільшуємо змінну на 1
        } else variants[variants_max][p]=0; //якщо
останній розряд 0, то перевіряємо наступний
        p++; //збільшуємо змінну на 1
        n1/=2; //ділимо номер розряду на 2
    }
}

```

```

        }
        variants_max++; //збільшуємо змінну на 1
    }
}

void KKD_fill()//функція ККД
{
    for(int i=0; i<variants_max*4; i++)
        KKD[i]=0.95; //задаємо значення ККД для перетворювачів
}

void variants_print()//функція виводу варіантів підключення перетворювачів
{
    AnsiString s="";
    for(int i=0; i<variants_max; i++)
    {
        s=""; //створюємо пустий рядок
        for(int j=0; j<elements+1; j++)
            if(variants[i][j])    s=s+"X";    else    s=s+"0"; //X_вивід
        перетворювача підключено, 0_не підключено
        Form1->Memo1->Lines->Add(s);    //виводимо    варіанти
        підключення
    }
    Form1->Memo1->Lines->Add("Знайдено    варіантів:
    "+(AnsiString)variants_max); //показує кі-сть знайдених варіантів
}

```

void connection_print()// функція виводу варіантів підключення перетворювачів

```
{
    AnsiString s="";//створюємо пустий рядок(розділюючий)
    Form1->Memo1->Lines->Add("");// виводимо в форму пустий рядок
    for(int i=0; i<variants_max; i++)
    {
        s="";//створюємо пустий рядок
        for(int j=0; j<3; j++)
            s=s+(int)(connection_points[i][j])+" ";
        Form1->Memo1->Lines->Add(s);//виводимо значення
        розширеного рядку в форму
    } //для розділення.
    Form1->Memo1->Lines->Add("Знайдено варіантів:
    "+(AnsiString)variants_max); //кількість варіантів

    //підключення перетворювача.

}
```

void calc_next_energy(double T)// функція обрахунку передачі енергії від часу, в залежності

```
{ // який тип перетворювача підключено.

    int i=0;

    double E,Ez,Ev; //змінні E(енергія), Ez(енергія, яку забирає
    перетворювач, Ev(енергія, яку віддає

    //Step-up, non-inv (Підвищуючий не інвертуючий перетворювач).
    //перетворювач з 1 елемента.
```

```

for(i=0;i<variants_max; i++)
{
    if(temp_mas[i]==0) continue;// якщо тимчасовий масив = 0, не
    продовжуємо обрахунок нижче
    E=temp_mas[i]*T; //формула енергії. Залежить від швидкості
    передачі (temp_mas)* T(час).
    Ez=E/(connection_points[i][1]-connection_points[i][0]);//забрана
    енергія з 1 елемента і розподілена на всі
    Ev=KKD[i]*E/(connection_points[i][2]-
    connection_points[i][0]);//віддана енергія з 1 елемента і розподілена на всі * на
    ККД
    //Form1->Memo1->Lines->Add("E    Ez/Ev:    "+(AnsiString)E+"
    "+(AnsiString)Ez+"/"+"+(AnsiString)Ev);
    for(int y=0; y<elements; y++)//перебір всіх елементів
    {

        if((y>=connection_points[i][0])&&(y<connection_points[i][1]))
        E_temp[y]-=Ez;//забрана енергія від 1-го елемента

        if((y>=connection_points[i][0])&&(y<connection_points[i][2]))
        E_temp[y]+=Ev; //забрана енергія від 2-го елемента
    }
}

//Step-down, non-inv (Понижуючий не інвертуючий перетворювач)
for(i=0;i<variants_max; i++)
{
    if(temp_mas[i+variants_max]==0) continue;// якщо тимчасовий
    масив = 0, не продовжуємо обрахунок нижче
    E=temp_mas[i+variants_max]*T; //формула енергії. Залежить від
    швидкості передачі (temp_mas)* T(час).

```

```

        Ez=E/(connection_points[i][2]-connection_points[i][0]);
        Ev=KKD[i+variants_max]*E/(connection_points[i][1]-
connection_points[i][0]);// повернена енергія * на ККД
        //Form1->Memo1->Lines->Add("E    Ez/Ev:    "+(AnsiString)E+"
"+(AnsiString)Ez+"/"+"+(AnsiString)Ev);
        for(int y=0; y<elements; y++)
        {

            if((y>=connection_points[i][0])&&(y<connection_points[i][2]))
E_temp[y]-=Ez;

            if((y>=connection_points[i][0])&&(y<connection_points[i][1]))
E_temp[y]+=Ev;

        }
    }
    //Step-up, inv
    for(i=0;i<variants_max; i++)
    {

        if(temp_mas[i+variants_max*2]==0) continue; // якщо тимчасовий
масив = 0, не продовжуємо обрахунок нижче
        E=temp_mas[i+variants_max*2]*T;//формула енергії. Залежить від
швидкості передачі (temp_mas)* T(час).
        Ez=E/(connection_points[i][2]-connection_points[i][1]);
        Ev=KKD[i+variants_max*2]*E/(connection_points[i][2]-
connection_points[i][0]);// повернена енергія * на ККД
        //Form1->Memo1->Lines->Add("E    Ez/Ev:    "+(AnsiString)E+"
"+(AnsiString)Ez+"/"+"+(AnsiString)Ev);
        for(int y=0; y<elements; y++)
        {

```

```

        if((y>=connection_points[i][1])&&(y<connection_points[i][2]))
E_temp[y]-=Ez;

        if((y>=connection_points[i][0])&&(y<connection_points[i][2]))
E_temp[y]+=Ev;

    }

}

//Step-down, inv
for(i=0;i<variants_max; i++)
{
    if(temp_mas[i+variants_max*3]==0) continue;
    E=temp_mas[i+variants_max*3]*T;
    Ez=E/(connection_points[i][2]-connection_points[i][0]);
    Ev=KKD[i+variants_max*3]*E/(connection_points[i][2]-
connection_points[i][1]);// повернена енергія * на ККД
    //Form1->Memo1->Lines->Add("E    Ez/Ev:    "+(AnsiString)E+"
"+(AnsiString)Ez+"/"+"+(AnsiString)Ev);
    for(int y=0; y<elements; y++)
    {

        if((y>=connection_points[i][0])&&(y<connection_points[i][2]))
E_temp[y]-=Ez;

        if((y>=connection_points[i][1])&&(y<connection_points[i][2]))
E_temp[y]+=Ev;

    }

}
}

```

```
double absf(double q)//математична функція, яка розраховує модуль числа
{
    if(q>0) return q; else return -q;
}
```

```
double energy_sum;//змінна суми енергій
```

```
double Qt();//функція розрахунку якості балансування з масиву temp_mas
{
    double r=0,s;
    energy_sum=0;
    for(int y=0; y<elements; y++)
        energy_sum+=E_temp[y];//сума всіх енергій
    елементів
    s=energy_sum/elements;//середнє арифметичне значення енергій
    елементів
    for(int y=0; y<elements; y++)
        r-=absf(E_temp[y]-s);//модуль різниці
    return r;//повернення r
}
```

```
double Q();//функція розрахунку якості балансування
{
    double s=0,r=0;
    for(int y=0; y<elements; y++)
        s+=E_curr[y];//сума всіх енергій елементів
    s/=elements;
```

```

        for(int y=0; y<elements; y++)
            r-=absf(E_curr[y]-s);//середнє арифметичне
значення енергій елементів
        return r; //повернення r
    }

```

```

void energy_print_t()//функція розрахунку енергії з тимчасового масиву
temp_mas
{
    AnsiString s="E: ";//створюємо для запису енергії
    for(int y=0; y<elements; y++)
        s=s+E_temp[y]+"\\t";//сума енергій масиву
temp_mas
    Form1->Memo1->Lines->Add(s);//вивід енергії з тимчасового масиву
temp_mas в форму
}

```

```

void energy_print() //функція розрахунку енергії з поточного масиву E_curr
{
    AnsiString s="E: ";//створюємо для запису енергії
    for(int y=0; y<elements; y++)
        s=s+E_curr[y]+"\\t\\t";//сума енергій масиву
curr_mas
    Form1->Memo1->Lines->Add(s);//вивід суми енергій в форму
}

```

```

void mas_print()//функція виводу коефіцієнтів зарядів перетворювачів

```



```

{
    AnsiString s="C: ";//створюємо для запису коефіцієнтів
    for(int p=0; p<variants_max*4; p++)//кількість використовуваних
перетворювачів для розрахунку
        s=s+curr_mas[p]+"\\t";
    Form1->Memo1->Lines->Add(s);//вивід коефіцієнтів в форму
}

```

```

double search_time=0.5;//час, за який буде відбуватися пошук коефіцієнтів
// double lambda=0.0001;

```

```

double Q_coeff=1;
double Eergy_coeff=1;
int counter_max=150;//максимальна кількість ітерацій
double step_size=0.5;//крок зміни

```

```

int step() //функція зміни кроку перебору

```

```

{
    int z=1; //змінна, яка вказує зміну Q() на будь-якому етапі

```

```

    double q,qp,qm;

```

```

    double e,ep,em;

```

```

    int counter=0; //лічильник

```

```

    while((z>0)&&(counter<counter_max))

```

```

    {

```

```

        z=0;

```

```

        counter++;

```

```

        for(int p=0; p<variants_max*4; p++) //кількість включени

```

```

перетворювачів

```

```

        {

```

```

copy_mas_curr_to_temp();//копіювання масиву mas_curr в
масив to_temp

copy_E_curr_to_temp();// копіювання масиву E_curr в
to_temp

calc_next_energy(search_time);//розрахунок енергії
функцією calc_next_energy в заданий момент часу search_time

q=Qt();//розрахунок поточного значення(q) енергії в
елементі функцією Qt()

e=energy_sum; //заносямо суму енергій в e
temp_mas[p]+=step_size;//додавання кроку step_size до
масиву temp_mas[p]

if(temp_mas[p]>20) {temp_mas[p]=20; continue;};
copy_E_curr_to_temp();// копіювання масиву E_curr в
to_temp

calc_next_energy(search_time); //розрахунок енергії
функцією calc_next_energy в заданий момент часу search_time

qp=Qt(); //розрахунок Qt() попереднього значення(qp)
енергії в елементі функцією Qt()

ep=energy_sum;//заносямо суму енергій в попереднє
значення qp

/* if(counter>140)
{
    qp=Qt();
} */
if( (qp-q)*Q_coeff+(ep-e)*Eergy_coeff > 0)
{
    z++;
    copy_mas_temp_to_curr();
}
}

```

```

        for(int p=0; p<variants_max*4; p++) //кількість включени
перетворювачів
    {
        copy_mas_curr_to_temp();//копіювання масиву mas_curr в
масив to_temp
        copy_E_curr_to_temp(); // копіювання масиву E_curr в
to_temp
        calc_next_energy(search_time);//розрахунок енергії
функцією calc_next_energy в заданий момент часу search_time
        q=Qt(); //розрахунок поточного значення(q) заряду в
елементі функцією Qt()
        e=energy_sum; //заносимо суму енергій в e
        temp_mas[p]-=step_size;//віднімання кроку step_size до
масиву temp_mas[p]
        if(temp_mas[p]<0) { temp_mas[p]=0; continue;}
        copy_E_curr_to_temp();// копіювання масиву E_curr в
to_temp
        calc_next_energy(search_time);//розрахунок енергії
функцією calc_next_energy в заданий момент часу search_time
        qm=Qt();//розрахунок Qt() поточного значення(qm) заряду
в елементі функцією Qt()
        em=energy_sum;//заносимо значення суми енергій в
поточне значення енергії
        if( (qm-q)*Q_coeff+(em-e)*Eergy_coeff > 0)
        {
            z++;
            copy_mas_temp_to_curr();
        }
    }

```

```

        copy_mas_curr_to_temp(); // копіювання масиву mas_curr в масив
to_temp
        copy_E_curr_to_temp(); // копіювання масиву E_curr в масив
to_temp
        calc_next_energy(search_time); // розрахунок енергії функцією
calc_next_energy в заданий момент часу search_time
        //energy_print_t();
        //mas_print();
        q=Qt(); // розрахунок поточного значення(q) заряду в елементі
функцією Qt()
        //Form1->Memo1->Lines->Add("Q="+(AnsiString)q+"\n");
        //Form1->Memo1->Lines->Add("");
        Form1->Caption="Q="+(AnsiString)q; // вивід у форму
розрахованого значення енергії(q) після кожної ітерації
    }
    Form1->Memo1->Lines->Add("Counter="+(AnsiString)counter); // вивід у
форму кількості ітерацій
    return counter; // повертаємо кількість ітерацій
}

```

```

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    search_time=Edit1->Text.ToDouble();
    counter_max=Edit_iter->Text.ToInt();
    Eergy_coeff=Edit4->Text.ToDouble();
    Q_coeff=Edit3->Text.ToDouble();
    step_size=Edit2->Text.ToDouble();

    double Qs, Es;

```

```

Memo1->Clear(); //очищення форми
fill_zero_mas_curr_temp(); //вивід функції
variants_fill(); //вивід функції
variants_print(); //вивід функції
connection_print(); //вивід функції connection_print()
init_E(); //вивід функції ініціалізація енергії
KKD_fill(); //вивід ККД
//temp_mas[8]=10;
//calc_next_energy(2);
//energy_print_t();
double q=Qt(); //розрахунок поточного значення заряду(q) функцією Qt()
Form1->Memo1->Lines->Add((AnsiString)energy_sum); //вивід у форму
значення поточної енергії

Qs=q;
Es=energy_sum;
Form1->Memo1->Lines->Add("");

energy_print();
mas_print();

Form1->Memo1->Lines-
>Add("====="); //розділювальна лінія
int iter=100; //початкове значення ітерацій
int cnt=0; //лічильник, який рахує кількість циклів
while(iter>1)
{
    copy_mas_curr_to_temp();
    copy_E_curr_to_temp();
    iter=step();
    Form1->Memo1->Lines->Add("RES:");

```

```

        copy_mas_curr_to_temp();
        copy_E_curr_to_temp();
        calc_next_energy(search_time);
        energy_print_t();
        mas_print();
        q=Qt();
        Form1->Memo1->Lines->Add("Q="+(AnsiString)q);
        Form1->Memo1->Lines->Add("Es="+(AnsiString)energy_sum);
        cnt++;
        Form1->Memo1->Lines->Add("CNT="+(AnsiString)cnt);
    }
    Form1->Memo1->Lines->Add("Різниця          Q="+(AnsiString)(q-Qs)+",
Різниця E="+(AnsiString)(Es-energy_sum));
}

```

Lithium batteries are primary batteries with metal lithium and anode. These types of batteries are also called lithium-metal batteries. They differ from other batteries with their high charge density (long service life) and high cost per unit. Depending on the design and the chemical compounds used, lithium cells can produce voltages from 1.5 V to 3.7 V

One of the varieties of lithium batteries is a lithium-ion battery. This type of battery is widely used in modern electronic technology and finds its application as an energy source in electric vehicles and energy storage systems in power systems. At the moment, this is the most popular type of battery. The type of this electric battery consists of electrodes (cathode material on aluminum foil and anode material on copper foil), separated by a porous separator, impregnated with electrolyte. The electrode package is located in a sealed housing, the cathode and the anode are connected to the terminal. Such batteries differ from each other typical material. It is supposed that in the summer-ion battery there is a positive charge of the lines, which can be introduced into the crystalline rest of the other factors with the creation of a chemical bond. Today, in the massive use of lithium-ion batteries, three classic catalytic materials are used:

1. cobalt lithium $LiCoO_2$;
1. lithium manganese spinel $LiMn_2O_4$;
2. lithium ferrophosphate $LiFePO_4$;

The material of the cathode affects the behavior of the battery in conditions of significant overheating, when the decomposition of the cathode material with the release of oxygen occurs, the electrolyte is oxidized and self-heating begins as a result of the occurrence of exothermic reactions. It is the temperature of the start of self-heating and the rate of its growth depend on the material of the cathode. The lowest temperature at the start of self-heating and the high rate of temperature rise

are accumulators with cathode from $LiCoO_2$, while the most resistant to overheating batteries have a cathode from $LiFePO_4$.

The cathode $LiFePO_4$ is the most safe, since at high temperatures the heating of a battery with such a cathode has a lower intensity, due to the allocation of less oxygen. However, the voltage range of the battery type $LiFePO_4$ is small and is 2.0-3.7 V, while for the most common type of cathode - a cathode with $LiCoO_2$, the lower voltage limit is 2.5-2.7 V and the upper can vary from 4.2 V to 4.35 V. Due to low self-discharge and a large number of charge / discharge cycles, lithium-ion batteries are always used in alternative energy.

The advantages of these batteries are high energy density, low self-discharge and maintenance-free use.

Overheat of lithium-ion battery

Overheating can occur as a result of recharging, raising the ambient temperature, and be the result of short-circuiting the battery contacts, both external and internal. In addition to heating up the melting point of the battery housing, the danger of overheating is that among the gases emitted there are combustible, such as carbon monoxide, methane, ethylene and hydrogen, as well as fluoride, which is toxic

Supercooling of lithium-ion battery

Despite the fact that storage of lithium-ion batteries is possible at negative temperatures, the charge and discharge of batteries, cooled to temperatures below zero degrees Celsius, leads to deterioration of battery characteristics. This is manifested in the fact that, after several cycles of charge / discharge, the super-cool battery loses a significant portion of its capacity.

Recharge the lithium-ion battery

The recharge of the lithium-ion battery may occur under different conditions, for example, if the battery voltage is "DC voltage", a voltage limitation step is missed and DC is charged for a long time. In this case, the voltage on the battery contacts continues to increase up to ignition.

The recharge of the core can also be achieved by limiting the voltage during the charge by selecting a voltage much higher than recommended by the manufacturer. Such charging conditions may occur when the charger is malfunctioning, and when used does not match the type of battery charger.

Deep discharge of lithium-ion battery

Each lithium-ion battery has a recommended voltage limit, which, when achieved, is considered to be completely discharged. A discharge is considered to be a battery level below this voltage, and the result of this category is the irreversible loss of capacity.

When discharging, lithium ions leave the anode and are embedded in the cathode, with a prolonged discharge due to the small number of lithium ions, the interphase electrolyte layer collapses, the electrolyte reacts with the anode material, while a certain amount of gas, for example carbon dioxide, is released and the battery is absorbed.

In case of mechanical damage, accumulators are often flammable. Also, you can not use low-current batteries (labeled ICR) in devices that require high power, in which case the device will work on the device or the battery will become hot and may burn and explode.

Lithium batteries are prone to explosive self-ignition. The intensity of combustion even from small batteries is such that leads to serious consequences. Airlines and international organizations take precautionary measures for the carriage of batteries and their equipment in air transport. Self-ignition of lithium batteries is very poorly extinguished by traditional methods (water, indoor air access).

Regardless of the type of cathode and anode for each lithium-ion battery, there are problems such as overheating and overcooling, overcharging and too deep discharge, as well as the problem of internal short circuits.

When working with lithium-ion batteries, it is necessary to maintain certain operating modes. Battery manufacturers clearly regulate the limits of voltage and discharge. Thus, in the formation of lithium-ion rechargeable batteries from

sequentially connected cells, it is necessary to equalize the voltage drop between the cells. The emergence of a voltage drop across battery cells during their operation may occur due to differences in their capacitance values, as well as at different rates of self-discharge. The reason for the spread of these parameters is the individual features of the batteries that are part of it. In the manufacture of batteries, a selection of batteries with very close (up to 1-3%) values of capacity and other characteristics is performed, but it is virtually impossible to predict how the characteristics of the battery will change during its aging and resource generation. To solve this problem, the systems of balancing of storage batteries are used, the main task of which is to minimize the voltage drop across the cells.

DC converter – is an electronic circuit or an electromechanical device that converts one level of DC voltage to another, which can be higher or lower, retaining input energy, and then giving this energy for output at another voltage. Storage can be carried out either in magnetic storage components (chokes, transformers), or in components for storing electric field (capacitors). Converters using the switching method are more energy efficient (typical efficiency ranges from 75% to 98%) than the linear voltage regulation that dissipates unwanted energy to heat. A higher switching efficiency switching mode reduces the need for a radiator and increases the endurance of the battery of the portable device. Efficiency has improved since the late 1980s thanks to the use of powerful transistors that are able to switch more efficiently with less switching losses for higher frequencies than bipolar transistors and use a less complex circuit. Another important improvement in dc-dc converters is a shunt diode using synchronous straightening using FET power, whose resistance is much lower, reducing switching losses.

Most dc-dc converters are designed to power only in one direction. However, all topologies of the converters can be designed bi-directionally and are capable of transmitting power in any direction, replacing all diodes independently controlled by active rectifiers.